



**Politecnico
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in
INGEGNERIA GESTIONALE
PERCORSO INNOVAZIONE

Tesi Di Laurea Magistrale

**SVILUPPO DEL BUSINESS CASE PER UNA
STARTUP SPACE-TECH: ANALISI DI
MERCATO E TECHNOLOGY INTELLIGENCE**

Relatore:

Prof. Giuseppe Scellato

Candidato:

Andrea Gili

ANNO ACCADEMICO 2021/2022



Sommario

1. INTRODUZIONE	6
1.1. Il settore Aerospaziale	6
1.1.1. Lo scenario globale.....	6
1.1.2. Gli ambiti in via di sviluppo	8
1.1.3. Possibili Scenari Futuri	9
1.2. Le orbite	13
1.2.1. Orbita Geostazionaria (o Fascia di Clarke)	15
1.2.2. Orbita Terrestre Media	16
1.2.3. Orbita Terrestre Bassa.....	17
1.3. I satelliti	19
1.3.1. Componenti di un satellite	21
1.3.2. Classificazione per caratteristiche costruttive	23
1.3.3. Classificazione per missione.....	23
1.3.4. Classificazione per orbita	25
1.4. Space Debris	27
1.4.1. Definizione e Sindrome di Kessler	27
1.4.2. Esempio: Conseguenze Del Problema.....	28
2. LA TECNOLOGIA	30
2.1. L'Elettro-adesione	30
2.1.1. Il principio di funzionamento	34
2.1.2. EA Pad design e fabbricazione	36
2.2. Applicazioni della tecnologia EA	41
2.2.1. End Effector robotizzati.....	41
2.2.2. Strisciamento e arrampicata robotica.....	43
2.2.3. Meccanismi attivi di fissaggio controllabili	44
2.2.4. Dispositivi Aptici	46
2.2.5. Applicazioni Spaziali	47
2.3. AdapTronics: l'innovazione	48
2.3.1. La fabbricazione	50
2.3.2. Fase di test	52



2.3.3.	Applicazioni sperimentali	54
3.	NEW SPACE ECONOMY	56
3.1.	La Logistica spaziale	60
3.2.	In-Orbit Servicing	62
3.2.1.	Suddivisione Dei Servizi	65
3.2.2.	Drivers e vincoli crescita del mercato	67
3.2.3.	Trend futuro	69
3.2.4.	Panorama Competitivo	71
3.3.	Active Debris Removal	74
3.3.1.	Suddivisione per Orbita	75
3.3.2.	Drivers e vincoli crescita del mercato	76
3.3.3.	Trend Futuro.....	78
3.3.4.	Panorama Competitivo	80
3.4.	Accoppiamento Tra Veicoli Spaziali	82
3.4.1.	Elenco dei meccanismi attuali.....	84
3.4.2.	Aggancio non-cooperativo	85
4.	TECHNOLOGY INTELLIGENCE	87
4.1.	Ipotesi di partenza e modello operativo.....	87
4.2.	Patent Landscape – Earth and general applications	89
4.2.1.	Query 1	90
4.2.2.	Query 2	92
4.2.3.	Query 3	93
4.3.	Database Generale (docking & electroadhesion).....	94
4.4.	Patent Landscape – Space applications	99
4.4.1.	Query 1	99
4.4.2.	Query 2	100
4.4.3.	Query 3	102
4.4.4.	Query 4 e 5	104
4.5.	DataBase SPACE.....	106
5.	CONCLUSIONI.....	109
5.1.	Patent Landscape.....	109



5.1.1.	Terra	109
5.1.2.	Spazio.....	111
5.1.3.	Strategia Brevettuale	112
5.2.	Posizionamento di Mercato	114
5.2.1.	Use Case principali.....	114
5.2.2.	Possibile Strategia.....	116
5.2.3.	Il prodotto.....	116
5.3.	Players di settore	118
5.3.1.	Copetitors Diretti	118
5.3.2.	Competitors Indiretti e Partners	118
5.4.	Prossimi Step	123
6.	Riferimenti	126



Premessa e Scopo del Lavoro

Nelle applicazioni in cui oggetti fragili, di geometrie e peso diversi hanno bisogno di essere afferrati e/o movimentati, un'azione di adesione è tipicamente preferita ad una di tipo pneumatico. Le tecnologie che permettono a due superfici di aderire tra loro possono basarsi su diversi principi fisici: l'aspirazione sottovuoto, la magneto-adesione e l'elettro-adesione.

L'elettro-adesione (EA) è un meccanismo controllabile elettricamente che da oltre un secolo viene studiato e utilizzato in campi quali l'adesione e l'aggancio attivi, la presa, l'arrampicata e lo strisciamento robotico. Questo perché le tecnologie EA, rispetto ad altre soluzioni di adesione esistenti possiedono una maggiore adattabilità, una ridotta complessità del sistema (i sistemi EA sono più semplici sia dal punto di vista meccanico che elettrico), un basso consumo energetico e un minore danneggiamento dei materiali.

AdapTronics è una start-up deep-tech che è riuscita a creare un sistema elettro-adesivo (EAD) adattivo per la logistica intelligente. La tecnologia *core* si basa su un dispositivo a membrana multifunzionale, "*as thin as a hair and as light as a feather*", che può essere reso adesivo quando attivato elettricamente, in grado di modificare la propria rigidità e dimensione, ed essere sensibile alla prossimità, alla forza, all'orientamento e all'umidità. Tale membrana può essere applicata come un "*wearable device*" che rende qualsiasi superficie di interfaccia una pinza elettrostatica intelligente.

Il presente lavoro di tesi si pone come obiettivo quello di valutare la fattibilità di un modello di business basato sull'utilizzo di tale tecnologia, focalizzandosi su una possibile applicazione in ambito *aerospace*. Nello specifico, sarà condotta un'analisi del settore spaziale nel suo complesso e della tecnologia in capo ad AdapTronics. Farà seguito un'analisi di mercato più dettagliata per identificare gli ambiti di possibile



applicazione degli EAD per i servizi in orbita. L'ultima parte di tesi sarà dedicata ad un *patent landscaping*, con il fine di studiare lo stato dell'arte attuale per un futuro deposito brevettuale, fornire una panoramica dei potenziali competitors e/o partners per la start-up e le aree geografiche con la maggior concentrazione di innovazione tecnologica simile.



1. INTRODUZIONE

In questa prima parte introduttiva sarà riportato un *overview* del mondo aerospaziale, nel dettaglio di analizzeranno: il settore spaziale e le evoluzioni che sta subendo, la classificazione delle orbite, dei tipi di satelliti e degli attuali problemi che si stanno presentando e che tale settore dovrà essere in grado di affrontare nel futuro.

1.1. Il settore Aerospaziale

1.1.1. Lo scenario globale

Oggi, grazie allo sviluppo di tecnologie con ampie applicazioni commerciali, l'ecosistema spaziale è di fondamentale importanza per gli aspetti della nostra vita quotidiana [1]. Questo grazie alle comunicazioni satellitari che consentono:

- I sistemi di posizionamento globale (GPS), rendendo le mappe fisiche ampiamente obsolete. Le tecnologie GPS guidano tutto, dai viaggi con Uber alle auto autonome.
- Facilitano quasi tutte le transazioni finanziarie, dalla strisciata di una carta di credito alle applicazioni bancarie mobili.
- Previsioni meteorologiche più accurate, consentendo a chiunque di sapere quando si aspetta la pioggia e fornendo alle città le informazioni necessarie per preparare le strade prima di una tempesta di neve.
- Migliorano la trasparenza delle azioni intraprese dagli Stati nazionali. I satelliti possono dare una visibilità tempestiva su come si stanno svolgendo gli eventi.
- Le videoconferenze, il monitoraggio delle emissioni, l'interconnessione dell'Internet degli oggetti (IoT).



Il potenziale per questo settore si prevede essere più grande nel futuro in quanto si sta attraversando un momento di profonda innovazione: l'impostazione e le logiche di mercato che hanno negli ultimi 50 anni guidato il settore non sono più sufficienti a gestire l'intera gamma di *business case* di oggi. Il rapido progresso tecnologico sta sbloccando nuove opportunità commerciali rendendo lo spazio più accessibile sia per le nazioni e i loro governi, sia per il settore privato. Tali fattori portano inevitabilmente ad accrescere la quantità di finanziamenti ed investimenti nel settore.

Questi sviluppi stanno trasformando il paradigma tecnologico, determinando il passaggio da architetture integrali ad architetture modulari, con una conseguente intensificazione della concorrenza nel settore, in quanto lo spazio sta diventando sempre più affollato e gli operatori pubblici e privati hanno interesse ad appropriarsi per primi delle risorse limitate, prima fra tutte le orbite, che possano garantire un vantaggio competitivo anche nel futuro.

Tra le conseguenze di questo scenario, si deve annoverare il rapido affollamento delle orbite, soprattutto di quelle basse, e la conseguente impellente necessità di far fronte a nuove problematiche quali la gestione in orbita di numerosi sistemi indipendenti, la necessità di evitare interferenze e di garantire la sicurezza dei sistemi stessi, sia nella fase operativa (ad esempio evitare le collisioni e la generazione di *debris* incontrollati) che nella fase di fine vita (rientro in atmosfera dei satelliti non più operativi), ma anche nel monitoraggio e, in futuro, nella rimozione degli *space debris*).

Le istituzioni sono chiamate, pertanto, a giocare un ruolo da protagoniste nella regolamentazione per un uso sostenibile dello spazio, in particolare per gli aspetti legati alla definizione di linee guida, regolamenti e leggi sia a livello mondiale che a livello nazionale.



1.1.2. Gli ambiti in via di sviluppo

Sono diversi gli ambiti in via di sviluppo del settore spaziale destinati a ricoprire opportunità di nuovi business [2].

Il 2021 è stato l'anno che ha visto l'avvio effettivo del turismo spaziale, e sarà ricordato come l'anno in cui hanno volato i primi 22 astronauti "non professionisti"; si stima che il business dello "space tourism" potrebbe raggiungere i 20 Miliardi \$ per anno entro il 2030. Di recente Blue Origin ha inoltre annunciato di voler realizzare una stazione spaziale privata, la *Orbital reef*, entro il 2025 - 2030. Negli ultimi anni si è poi registrato un rinnovato impulso verso l'esplorazione spaziale, in special modo della Luna e di Marte, e le iniziative internazionali procedono verso la realizzazione delle prime missioni. Gli obiettivi sono principalmente la colonizzazione e lo sfruttamento delle risorse naturali.

Il comparto industriale si sta adattando a questo nuovo scenario orientandosi verso una filiera sempre più verticalizzata, molto dinamica nella promozione di iniziative commerciali mirate e di nicchia, con crescente attenzione ai costi per favorire la competitività. Si registra anche una enorme crescita di start up, che si propongono nell'ambito del downstream con l'offerta di servizi basati sulla elaborazione dei dati derivanti dalle infrastrutture e dai sistemi spaziali. In questo contesto, anche il ruolo delle istituzioni pubbliche spaziali (incluso le Agenzie spaziali) è inevitabilmente in evoluzione.

Sempre maggiore rilevanza sta assumendo l'aspetto della protezione e sicurezza delle attività e delle infrastrutture spaziali da potenziali rischi sia naturali che indotti, sia fisici che di tipo *cyber*, tenendo conto che la corretta operatività e gestione delle attività spaziali è un ormai elemento imprescindibile per numerose attività e servizi istituzionali e privati. Uno dei settori di più larga applicazione dei dati spaziali è sicuramente la conoscenza dei cambiamenti climatici del nostro pianeta. Pertanto, interesse primario delle istituzioni è quello di sviluppare ed operare sistemi e



strumenti adatti per monitorare parametri chiave relativi all'evoluzione delle condizioni terrestri, dei mari e dell'atmosfera, per prevedere e mitigare gli effetti generati da crisi climatiche ed eventi catastrofici. Tutto ciò per favorire e supportare la sostenibilità della vita sulla Terra, contribuire allo sfruttamento sostenibile delle risorse terrestri, incentivando l'uso dei dati spaziali da parte delle istituzioni e dei cittadini.

Negli ultimi anni le maggiori potenze internazionali (e.g. Stati Uniti e maggiori Paesi europei, Italia inclusa) hanno stabilito comandi e/o forze spaziali. Si registra, infatti, un crescente interesse e impegno delle istituzioni militari in attività spaziali non solo con iniziative dedicate (come la *Space Force* in USA e, più di recente, il *Commandement militaire de l'espace* in Francia), ma anche con attività in sinergia con le applicazioni civili, attraverso collaborazioni ed iniziative a carattere duale. Recentemente, il governo americano ha proposto 24.5 miliardi di dollari per la *Space Force* (con un aumento di 5 miliardi di dollari) per la gestione di infrastrutture militari spaziali e attività di cybersicurezza.

Infine, un aspetto fondamentale del ruolo che le istituzioni svolgono nell'ambito spaziale risiede negli investimenti in capitale umano, nella formazione (in particolare nelle discipline STEM) e negli investimenti nella ricerca.

1.1.3. Possibili Scenari Futuri

Uno studio condotto da *McKinsey & Company*, contenuto nel report "*The role of space in driving sustainability, security, and development on Earth*" ha analizzato i possibili scenari che si potranno presentare nel settore spaziale [1]. Da interviste con i principali leader di settore, sono emersi due principali fattori determinanti: il grado di generazione di valore commerciale e la misura in cui viene istituita una governance collaborativa nel settore.



L'analisi ha portato all'individuazione di 4 possibili scenari, schematizzati in figura 1, basati sull'interazione tra questi due fattori:

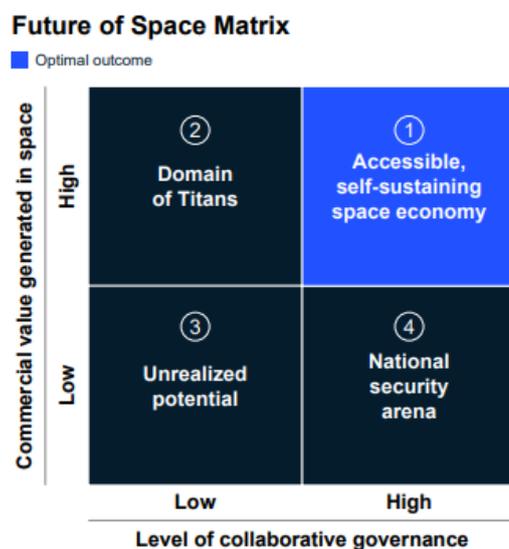


Figura 1- Possibili scenari di sviluppo del settore spazio entro il 2050

1. Scenario 1, “un'economia spaziale accessibile e autosufficiente”.

È caratterizzato da un'innovazione tecnologica senza precedenti, catalizzata dalla collaborazione globale, da finanziamenti diffusi e da una sana concorrenza. In questo scenario, l'economia spaziale si autosostiene e migliora la vita sulla Terra attraverso il rapido sviluppo di nuovi casi d'uso, come le comunicazioni globali onnipresenti. L'economia spaziale si espande oltre i 1.000 miliardi di \$ grazie a una governance efficace che promuove un dominio spaziale sicuro e accessibile. Ad esempio, la gestione del traffico spaziale è stata messa in atto per evitare collisioni e vengono rimossi i detriti esistenti ad alto rischio. Le parti interessate concordano un quadro di riferimento per l'accesso alle risorse spaziali che consenta un ritorno economico, ma che cerchi di prevenire le schermaglie per i siti di valore e di limitare lo sviluppo di monopoli.



I leader hanno suggerito che una governance efficace in questo scenario potrebbe assomigliare alla Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare, che più di 160 Paesi hanno sottoscritto.

2. Scenario 2, "dominio dei titani".

Vede l'attività spaziale continuare a crescere e ad attirare finanziamenti, mentre la governance rimane radicata in contesti datati e limitati. Lo spazio diventa sempre più ingombro di satelliti e detriti, mentre ogni azienda o Paese agisce secondo i propri interessi. Senza una governance efficace che favorisca la collaborazione e l'accessibilità, i leader temono che lo spazio possa essere riservato a una manciata di nazioni sviluppate e di poche aziende. Inoltre, se l'economia spaziale si dovesse sviluppare a sufficienza, alcuni attori potrebbero diventare molto potenti e plasmare le regole a loro favore. Il consolidamento del settore spaziale a pochi grandi operatori potrebbe accelerare il progresso nel breve termine, ma la mancanza di una concorrenza perfetta impedirebbe probabilmente di realizzare il pieno potenziale del settore nel lungo periodo.

3. Scenario "del potenziale non realizzato".

Si verificherà nel caso in cui le sfide tecniche, economiche e normative ostacoleranno il progresso. Per esempio, le attività spaziali rimangono proibitive per la maggior parte degli operatori a causa dei business case che non riescono a concretizzarsi. Questo porterebbe in un loop nel quale i finanziamenti privati si azzerano e di conseguenza l'innovazione si ferma. In assenza di un'efficace regolamentazione per la mitigazione dei detriti, le collisioni orbitali diventano comuni, causando perdite commerciali e scoraggiando gli investitori. Nello scenario peggiore, gli *space debris* diventano così numerosi da rendere



impossibili molte attività spaziali.

4. Scenario “dell'arena della sicurezza nazionale”.

È provocato da una serie di disastri spaziali. I leader si aspettano che i governi rispondano con regolamenti rigidi che possono fornire una governance efficace nel lungo periodo, ma che potrebbero anche aumentare i costi delle attività spaziali, bloccando l'innovazione del mercato e spegnere l'interesse degli investitori, compromettendo lo sviluppo di un'economia spaziale sostenibile. La commercializzazione tecnologica passa in secondo piano rispetto agli interessi della sicurezza nazionale.



1.2. Le orbite

Un'orbita è la traiettoria compiuta da un oggetto nello spazio (come una stella, un pianeta, una luna, un asteroide o un veicolo spaziale) come descritto dalla legge di gravitazione universale.

Il moto di un oggetto di massa m in orbita intorno alla terra si può descrivere imponendo che la forza di attrazione esercitata dalla Terra su quest'ultimo (formula 1) sia uguale alla forza centripeta (formula 2) che agisce su di esso per via della sua velocità v (formula 3).

$$F_{gravitazionale} = G * \frac{m*m_T}{r^2} \quad (1)$$

$$F_{centripeta} = \frac{m*v^2}{r} \quad (2)$$

$$G * \frac{m*m_T}{r^2} = \frac{m*v^2}{r} \quad (3)$$

Dove G è la costante di gravitazione universale. Da quest'ultima formula si ricava la velocità del corpo

$$v = \sqrt{\frac{G*m_t}{r}} \quad (4)$$

Si osservi che la velocità dell'oggetto in orbita è:

- Indipendente dalla massa del satellite stesso;
- Inversamente proporzionale alla sua distanza dalla terra;

La gravità fa sì che gli oggetti nello spazio dotati di massa siano attratti da altri oggetti vicini.

Oggetti di massa simile orbitano l'uno intorno all'altro senza che nessuno dei due sia al centro, mentre oggetti piccoli orbitano intorno a oggetti più grandi.

Quando i razzi lanciano i nostri satelliti, li mettono in orbita nello spazio. A quel punto,



la gravità mantiene il satellite nell'orbita desiderata, come la Luna nell'orbita intorno alla Terra.

La messa in orbita dei satelliti ci permette di utilizzare tecnologie per le telecomunicazioni, la navigazione, le previsioni meteorologiche e le osservazioni astronomiche.

Al momento del lancio, un satellite o un veicolo spaziale viene spesso collocato in una delle diverse orbite intorno alla Terra [3], a meno che non si tratti di un viaggio interplanetario (ovvero il satellite, anziché intorno alla Terra, orbiterà intorno al Sole fino a raggiungere la sua destinazione finale, come Marte o Giove).

Esistono diverse classificazioni delle orbite. Ad esempio, possono essere classificate in funzione dell'inclinazione dei satelliti intorno alla terra (figura 2), distinguendo così:

- **Orbite polari** (inclinazione di 90°): queste orbite sono tipicamente usate per quei satelliti con missioni di osservazione della terra;
- **Orbite equatoriali** (inclinazione di 0°): queste orbite sono tipicamente usate dai satelliti per broadcasting;
- **Orbite inclinate** (inclinazione compresa tra 0° e 90°): queste orbite sono tipicamente usate per satelliti militari o per costellazioni di satelliti.

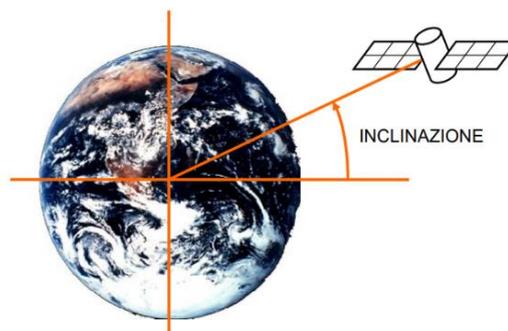


Figura 2- Inclinazione dell'orbita rispetto alla direzione equatoriale

La classificazione più comune risulta però essere quella della figura 3, in funzione dell'altitudine rispetto alla Terra, e sarà quella utilizzata nel seguito della presente



analisi. Distinguiamo anche in questo caso 3 orbite principali: LEO, MEO e GEO. Se nel
analizzano nel seguito le caratteristiche principali.

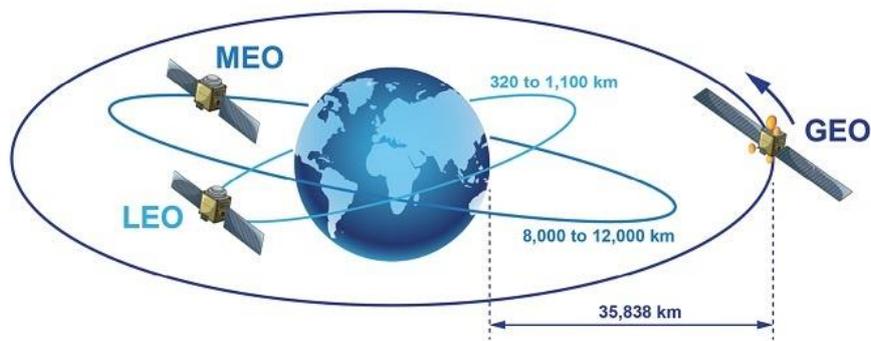


Figura 3- Classificazione orbite (Fonte: researchgate)

1.2.1. Orbita Geostazionaria (o Fascia di Clarke)

La GEO (*Geostationary Earth-Orbit*) è una singola orbita circolare ed equatoriale posta a 35.786 km di quota (ovvero 42.168 km dal centro della Terra). La precisione di questo dato deriva dal fatto che è l'altitudine tale per cui i satelliti, viaggiando alla stessa velocità di rotazione della terra, impiegano esattamente 23 ore 56 minuti e 4 secondi per completare un giro intorno a quest'ultima. In altre parole, un oggetto in GEO risulta essere "fisso" in cielo rispetto ad un osservatore posto sulla superficie terrestre. Un satellite in tale orbita può osservare quasi un intero emisfero terrestre, in quanto l'ampiezza del suo orizzonte equivale ad un cerchio di diametro di circa 18.000 km sempre centrato sull'equatore (figura 4 in alto).

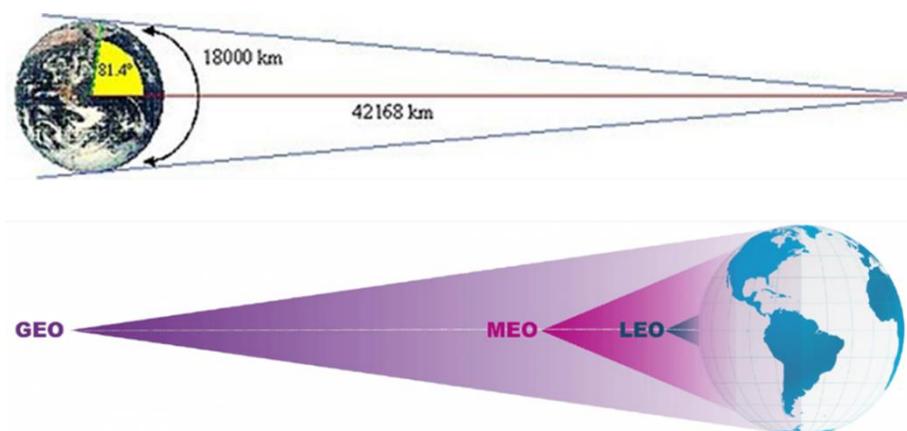


Figura 4- Punto di osservazione dalla GEO in alto; copertura dei satelliti nelle orbite in basso (Fonte: Researchgate)

È come se da un metro di distanza si vedesse meglio una mappa rispetto a un centimetro di distanza. Quindi, per vedere tutta la Terra in una volta sola, da GEO sono necessari pochi satelliti rispetto ad un'altitudine inferiore (cfr. Figura 4 in basso).

Lo scienziato inglese *Arthur C. Clarke* intuì per primo nel 1945 un utilizzo pratico di questa orbita [4] (che in suo onore ha preso il nome di Fascia di Clarke): egli riteneva che soli tre satelliti in orbita GEO fossero sufficienti a coprire l'intero pianeta ad eccezione delle regioni polari.

In quest'orbita un oggetto viaggia alla velocità di circa 3 km/s, ovvero 11.000 km/h [5].

1.2.2. Orbita Terrestre Media

L'orbita MEO (*Medium Earth-Orbit*) comprende un'ampia area che si estende dalla GEO fino alle Fasce di Van Allen*: il range di quota si attesta tra i 5.000 e 20.000 km. Confrontando quest'orbita con quella di tipo GEO, si evince subito come la distanza inferiore rispetto alla Terra permetta di ridurre il ritardo di propagazione. Si perde però

* le Fasce di Van Allen ricoprono una zona all'interno della magnetosfera terrestre, che si estende dai 1.000 ai 12.000 km di altitudine. Sono note per l'elevata concentrazione di energia al loro interno, indotta da particelle cariche (plasma).



la proprietà di avere il satellite in un punto fisso rispetto ad un osservatore al suolo: per poter coprire l'intero globo è necessaria una flotta di almeno 10-15 satelliti (il numero aumenta al diminuire del raggio orbitale).

Un oggetto spaziale in orbita MEO può arrivare a viaggiare ad una velocità di oltre 20.000 km/h, a causa della ridotta distanza rispetto al centro terrestre.

1.2.3. Orbita Terrestre Bassa

La LEO (*Low Earth-Orbit*) ricopre la regione di spazio tra i 200 e 1.200 km di altezza.

A differenza dei satelliti in GEO, che devono sempre orbitare lungo l'equatore terrestre, i satelliti in LEO non seguono un particolare percorso intorno alla Terra: il loro piano può essere inclinato. Ciò significa che ci sono più rotte disponibili per i satelliti in LEO, questo giustifica il fattore per cui la LEO è un'orbita molto ambita dagli attori spaziali [6].

I satelliti in quest'orbita possiedono un campo di comunicazione molto più piccolo con la terra rispetto a un satellite ad un'altitudine maggiore. Come si evince dalla formula (4), essendo i più vicini alla terra, la loro velocità di rotazione è molto elevata in confronto alle GEO e MEO.

Nella tabella 1 si riportano le 3 orbite a confronto, con i relativi vantaggi e svantaggi.

Tabella 1 - Confronto tra orbite

	GEO (36,000km)	MEO (5,000-20,000km)	LEO (500-1,200km)
Altitude latency ¹	High	Low	Very low
Earth coverage	Very large	Large	Small
Satellites required	Three	Six	Hundreds
Data gateways	Few fixed	Regional flexible	Local numerous
Antenna speed	Stationary	1-hour slow tracking	10-minute fast tracking



Advantages	High throughput (HTS) technologies enable basic broadband internet applications	Proven low latency comparable to terrestrial networks, offers fibre-equivalent performance	Claims support for high-frequency trading, virtual gaming, and high-performance computing applications
	Fewer satellites over very large fixed geographical areas	Simple equatorial orbit covers 96% of global population	Smaller, lower power satellites batch-launched more cheaply than GEO
Disadvantages	High altitude and distant ground networking impacts latency-sensitive applications	Dual tracking antennas required to maintain continuous connectivity	Very complex tracking and ground network, plus complete constellation must be in place before service starts
	Signal power losses require larger satellites and antennas	Inclined plane orbits needed to cover high latitudes	Unproven business model, risky technology, and space debris risk

[†]Total end-to-end network latency is dependent on ground infrastructure



1.3. I satelliti

Nello spazio esistono diverse strutture, costruite dall'uomo, che hanno lo scopo di scambiare informazioni tra due punti posti a notevole distanza sulla Terra, studiare la Terra stessa, esplorare l'universo ed effettuare particolari studi su oggetti sottoposti a condizioni spaziali.

Tali strutture si suddividono in [7]:

- **Satellite:** oggetto che orbita attorno ad un corpo celeste descrivendo, in un sistema solidale con questo, una traiettoria tipicamente chiusa;
- **Costellazione satellitare:** gruppo di satelliti artificiali utilizzati in modo coordinato operanti sotto un controllo comune e sincronizzati in modo che la loro copertura a terra si complementi;
- **Stazione spaziale:** particolare satellite assemblato nello spazio, abitabile o meno;
- **Sonda:** oggetti realizzati dall'uomo che non descrivono orbite chiuse ma aperte, utilizzate per l'esplorazione della terra o dell'universo.

L'analisi si focalizzerà sui satelliti, che costituiscono l'oggetto di maggiore interesse in quanto, a conseguenza delle innovazioni tecnologiche riportate nel paragrafo precedente, il numero di lanci di satelliti sono più che raddoppiati fra il 2018 e 2021 (figura 5) [8].



Totale satelliti portati in orbita negli ultimi sei anni per Paese

ASTROSPACE.IT

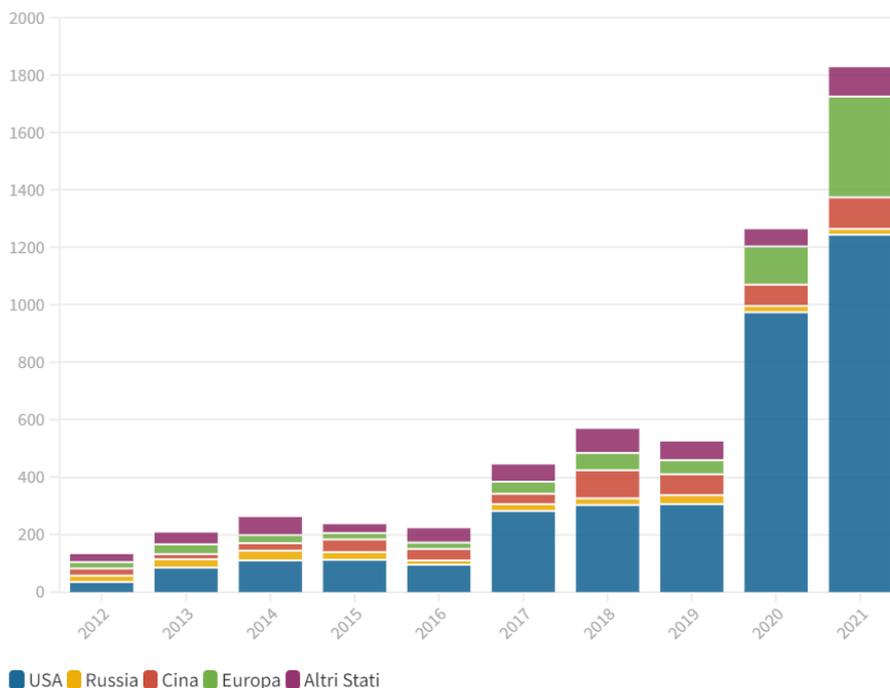


Figura 5- Trend dei lanci di satelliti (Fonte: Astrospace)

I proprietari del maggior numero di satelliti attualmente in orbita [9]:

- SpaceX: 1,655
- OneWeb Satellites: 288
- Planet Labs Inc.: 188
- Chinese Ministry of National Defense: 129
- Ministry of Defence of the Russian Federation: 125
- Spire Global Inc.: 121
- Swarm Technologies: 120
- U.S. Air Force: 87
- Iridium Communications Inc.: 75
- National Reconnaissance Office (NRO): 637



Numeri, questi, che sono destinati ad aumentare: La crescita procede a ritmi esponenziali e si prevede che **entro il 2030 potrebbero essere portati in orbita più di 50.000 satelliti** [10].

Conseguenza di questi dati sarà l'aumento della domanda dei servizi di manutenzione e in generale dei servizi da effettuare in orbita, discorso questo che sarà affrontato nel dettaglio nel capitolo dell'analisi di mercato.

1.3.1. Componenti di un satellite

I satelliti sono composti fondamentalmente da due parti [7]. Una parte principale, chiamata *payload* (carico utile o carico pagante), che svolge la missione per la quale il satellite è stato progettato e messo in orbita; e una seconda parte chiamata Piattaforma (o BUS) che comprende tutto ciò che occorre per il sostentamento dell'intero satellite ed in particolare del *payload*.

Un satellite si differenzia dagli altri per la tipologia e lo scopo del *payload* utilizzato. La piattaforma invece rimane pressoché invariata, ed è quindi standard. Quest'ultima è suddivisa in vari sottoinsiemi:

- Struttura
- Controllo termico
- Generazione e distribuzione di potenza
- Propulsione Telemetria e telecomando
- Controllo dell'assetto
- Sensori di terra
- Sensori di sole
- Sensori stellari
- Sensori giroscopici



La figura 6 esemplifica come avviene il collegamento utente – satellite.

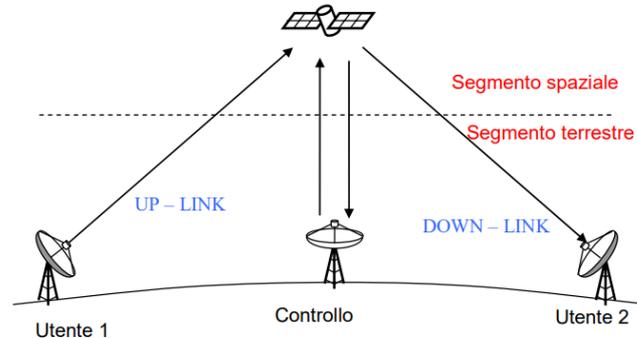


Figura 6- Collegamento utenti - satellite

Tipicamente un satellite è un trasponditore che ha il semplice compito di captare da Terra un segnale debole, amplificarlo mediante un amplificatore a basso rumore, cambiare la frequenza del segnale così ottenuto dalla frequenza di *uplink* a quella di *downlink*, amplificare nuovamente il segnale e, infine, ritrasmettere il segnale a Terra (satellite con Payload trasparente). I satelliti di ultima generazione prima di portare il segnale alla frequenza di *downlink* lo trasferiscono in banda base e lo rigenerano (satellite con Payload rigenerativo).

È utile classificare i satelliti in relazione alle caratteristiche salienti che li contraddistinguono: possono essere classificati in base a:

- Caratteristiche costruttive del satellite;
- Missione (o scopo) che il satellite deve svolgere;
- Tipologia dell'orbita seguita dal satellite

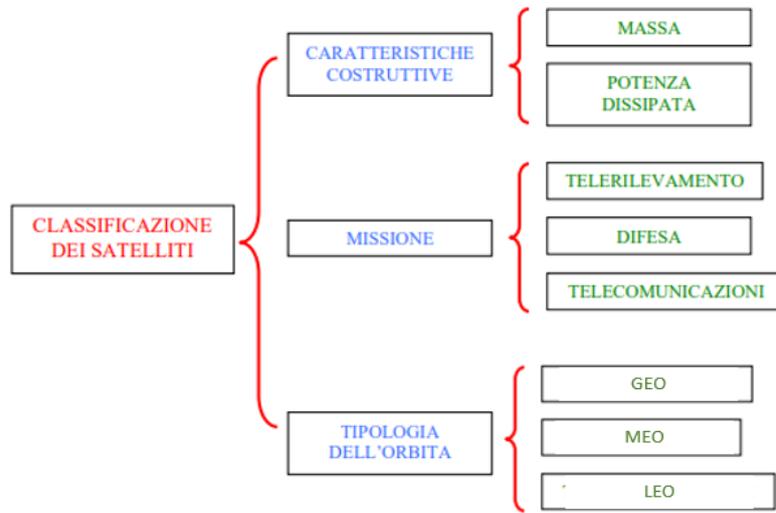


Figura 7- Classificazione dei satelliti

1.3.2. Classificazione per caratteristiche costruttive

La classificazione dei satelliti in base alle loro caratteristiche costruttive è di fondamentale importanza. Infatti, se da un lato la potenza dissipata fornisce un'idea del tempo di vita del satellite una volta lanciato in orbita, dall'altra la massa del satellite caratterizza il costo della messa in orbita dello stesso. In base alla massa si distinguono tre tipologie di satelliti:

- Satelliti di piccole dimensioni: massa inferiore a 900 Kg;
- Satelliti di grandi dimensioni: massa superiore a 4100 Kg;
- Satelliti di medie dimensioni: massa compresa nelle due precedenti.

1.3.3. Classificazione per missione

La missione, o scopo, è la motivazione per la quale il satellite è stato ideato e messo in orbita. Di seguito sono riportate le tipiche missioni che svolge un satellite:



- Satelliti per telecomunicazioni: questa missione viene svolta dal 40% dei satelliti presenti in orbita. Tra le principali applicazioni per questi tipi di satelliti si hanno:
 - Telefonia;
 - Internet;
 - Broadcasting RADIO – TV;
 - Videoconferenza;
 - Telemedicina.
- Esplorazione dell'universo: questa missione viene svolta dalle sonde;
- Difesa: sono le missioni di carattere militare e sono svolte da circa il 20% dei satelliti in orbita. In realtà il numero di questi satelliti è imprecisato in quanto la maggior parte di questi satelliti sono di tipo "Dual Use", ossia svolgono funzioni sia di tipo civile che di tipo militare;
- Studio: le missioni di studio vengono svolte dalle stazioni spaziali in cui vengono eseguiti studi su particolari tecnologie in condizioni di microgravità (ad esempio costruzione di lenti ottiche prive di difetti);
- Osservazione della terra: questa missione viene svolta da circa il 40% dei satelliti in orbita. Si possono distinguere:
 - satelliti meteorologici;
 - satelliti per la ricerca di risorse naturali;
 - satelliti per il controllo dell'inquinamento (ad esempio monitoraggio costante dell'effetto serra);
 - localizzazione e radio – navigazione.



1.3.4. Classificazione per orbita

In questo caso la suddivisione è fatta in base all'altitudine dei satelliti rispetto alla Terra [4]. Sono molti i fattori che decidono quale sia l'orbita migliore da utilizzare per un satellite, a seconda dello scopo che il satellite è stato progettato per raggiungere.

In generale si possono identificare 3 categorie:

- **Satelliti LEO:** vantano costi particolarmente contenuti sia per lancio, essendo le quote minori, sia per la componentistica elettronica di bordo, che, operando sotto le fasce di Van Allen, non richiede schermature particolari.

Avendo un minore ritardo di propagazione per la ridotta distanza da terra, richiedono minori potenze di trasmissione, sono perciò adatti per comunicazioni voce.

Per contro, a causa della maggiore velocità di rotazione rispetto a quella terrestre, il tempo di visibilità da parte di un'antenna terrestre è limitato e richiede per una copertura continua la predisposizione di flotte di satelliti (costellazioni) o sistemi di memorizzazione dell'informazione a bordo che però allungano il tempo di restituzione dei dati.

Sono utilizzati nelle telecomunicazioni per radioamatori o in impieghi particolari per il rilievo fotografico del terreno.

- **Satelliti MEO:** presentano costi più elevati ma consentono di ottenere una copertura continua della superficie terrestre con un numero adeguato di satelliti in orbita e tempi di propagazione adatti a comunicazioni telefoniche bidirezionali. Sono utilizzati per la telefonia mobile e per i sistemi di rilevamento della posizione GPS.

- **Satelliti GEO:** essendo stazionari rispetto alla Terra, non necessitano di sistemi di tracking: un'antenna può essere fissata per rimanere sempre puntata verso



quel satellite senza muoversi. Satelliti GEO sono utilizzati per il broadcasting Tv di contributo e di diffusione, per la meteorologia e per la trasmissione bidirezionale dei dati, mentre non sono adatti alle comunicazioni bidirezionali voce a causa dell'elevato ritardo di propagazione introdotto dal lungo percorso terra-satellite e viceversa. Negli ultimi anni, quest'orbita è stata popolata da un gran numero di satelliti ad alta velocità (*High Throughput Satellites, HTS*), costruiti appositamente per i dati [11].

In tabella 2 si riporta il consuntivo di quanto detto in questo paragrafo:

Tabella 2- Suddivisione satelliti nelle diverse orbite

Orbita	Distanza da terra	Tempo di andata e ritorno del segnale	Impieghi per telecomunicazioni
LEO	200-2.000 Km	~ 10 msec	Radioamatori, rilievi geodetici
MEO	9.800-20.500 Km	~ 100 msec	GPS,Telefonia, monitoraggio
GEO	35.800 Km	~ 250 msec	Televisione, dati, meteo



1.4. Space Debris

Il cambio di paradigma sta portando a una rapida congestione dell'ambiente spaziale. Nubi di detriti spaziali continuano a orbitare insieme a satelliti funzionanti. Ciò comporta la nascita di un problema oggettivo destinato ad aggravarsi già nel prossimo futuro e che ha suscitato la consapevolezza che esista una sostenibilità spaziale da preservare per rendere lo spazio pienamente sfruttabile anche in futuro. Una situazione questa potenzialmente pericolosa rispetto alla quale si ha ancora carenza di regole e normative.

1.4.1. Definizione e Sindrome di Kessler

Fra i detriti orbitali rientra qualsiasi oggetto spaziale inerte, di origine naturale oppure artificiale. In particolare, la dicitura “*space debris*” indica direttamente quegli oggetti artificiali che non è più possibile controllare da terra, ma che restano in orbita attorno alla Terra per un certo lasso di tempo essendo privi di energia. Di questi fanno parte: satelliti inattivi, sonde o pannelli solari, pezzi di razzi o navicelle e altre tipologie di oggetti spaziali di scarto. Se non si sono polverizzate, anche le scaglie di vernice sono da considerare dei detriti spaziali.

La congestione delle orbite potrebbe portare una serie di collisioni a cascata. Uno scenario che prende il nome di “**sindrome di Kessler**” (1978, Donald J. Kessler, consulente NSA) [12], dovuto all'aumento della densità di detriti in orbita LEO (in figura 8 a sinistra il volume di detriti in orbita LEO). La conseguenza diretta del realizzarsi di tale scenario consiste nel fatto che il crescente numero di rifiuti in orbita renderebbe impossibile per molte generazioni l'esplorazione spaziale e anche l'uso dei satelliti artificiali.

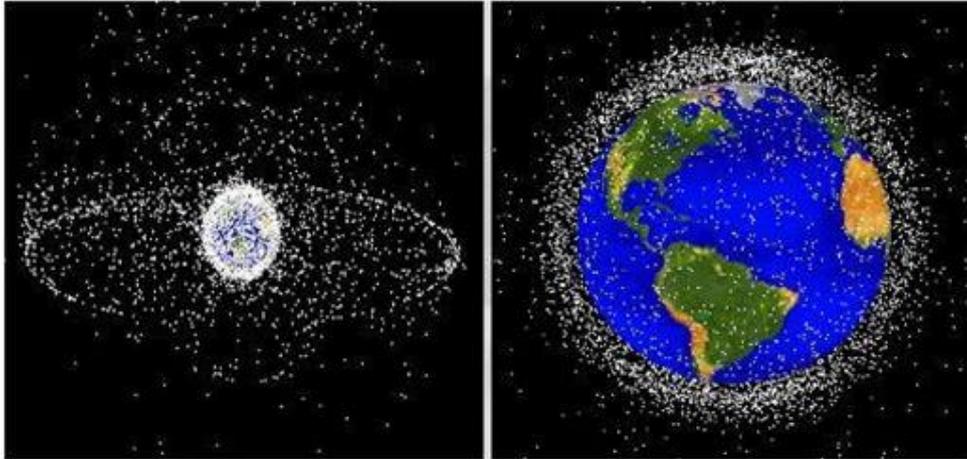


Figura 8- Densità detriti in orbita (generale a sinistra, orbita LEO a destra)

Non tutti questi corpi abbandonati nello spazio si trovano alla stessa distanza e nella stessa area. Sono sparsi, hanno caratteristiche molto diverse gli uni dagli altri e quindi dinamiche diverse di spostamento, in funzione dell'orbita in cui si trovano. Dopo un certo periodo di tempo, proporzionale alla distanza dalla terra, i detriti ritornano sulla terra e, a seconda dell'altezza e delle dimensioni, possono bruciare completamente per attrito con l'atmosfera o tornare in pezzi sulla terra. Tuttavia, nonostante detriti in orbita LEO, essendo più vicini, possano attraversare l'atmosfera terrestre in poco tempo, detriti in orbita GEO restano in orbita per anni e anni.

1.4.2. Esempio: Conseguenze Del Problema

Il problema principale creato dal detrito spaziale risiede nel fatto che esso potrebbe incrociare l'orbita di altri satelliti. La pericolosità di quest'evento non risiede tanto nella probabilità che le due orbite si sovrappongano, quanto nella possibilità che le due traiettorie si incrocino in un solo punto e che il rifiuto possa quindi collidere con l'altro oggetto (si parla in questo caso di elissoide di probabilità). Talvolta, la velocità del detrito può essere così alta da poter danneggiare, ed in certi casi



anche distruggere intere strutture. Questo impatto indesiderato porta con sé l'effetto a cascata menzionato in precedenza (sindrome di Kessler).

Un satellite di rilevamento meteorologico, ad esempio, può costare 290 milioni di dollari o più per la sua costruzione, con una conseguente perdita finanziaria significativa in caso di collisione. Anche la Stazione Spaziale Internazionale ha dovuto cambiare orbita tre volte solo nel 2020 per evitare una collisione con i detriti spaziali. L'entità dei danni può essere alta non tanto per la massa dei detriti ma per via della velocità con cui sfrecciano in orbita.

A tale proposito, si riporta nel seguito un esperimento che mostra gli effetti di un impatto, condotto dall'ESA [13].

La figura riportata a destra mostra i risultati di un esperimento in cui una piccola sfera di alluminio del diametro di 12 mm del peso di soli 1,7 grammi è stata scagliata contro un blocco di alluminio dello spessore di 18 centimetri. Per sparare quella sferetta



Figura 9- Esito dell'impatto tra la sfera e il blocco di alluminio

si è impiegato un dispositivo particolare, in grado di farla viaggiare a circa 6,8 km al secondo (più o meno 24500 km/h), velocità paragonabile a quella posseduta da un detrito in orbita LEO.

Il test serve a verificare cosa succede quando un piccolo frammento di "spazzatura spaziale" colpisce un'astronave. Il risultato è impressionante: la sferetta non solo riesce a scavare un cratere profondo 5,3 centimetri e largo 9, ma lascia una pesante impronta anche negli strati più profondi del bersaglio. Non ci si deve meravigliare per i bordi rialzati; in un simile impatto, infatti, si raggiungono temperature di 6000 gradi e pressioni superiori ai 365 GigaPascal, condizioni più estreme di quelle presenti nel centro del nostro pianeta.



2. LA TECNOLOGIA

Nel seguente capitolo sarà fornita una descrizione della tecnologia che costituirà l'oggetto delle analisi successive. Sarà inizialmente data una spiegazione del fenomeno alla base dell'innovazione, ovvero l'elettro-adesione, e successivamente di come AdapTronics sia riuscita a sfruttare tale principio fisico per creare un sistema innovativo di gripping applicabile in diversi contesti e settori.

2.1. L'Elettro-adesione

L'Elettro-adesione [14], termine coniato da due scienziati danesi, Alfred Johnsen e Knud Rahbek negli anni '10, è usato per identificare l'attrazione elettrostatica che si genera tra due materiali a contatto in presenza di una differenza di potenziale elettrico. Il tradizionale effetto Johnsen-Rahbek (J-R) descrive la forza di attrazione tra un conduttore e un semiconduttore quando i due materiali sono in contatto e viene applicata una tensione tra loro [15]. Tale forza generata è definita dalla seguente equazione:

$$F = \frac{A_{eff} * \epsilon_0 * \frac{(k_g * V_{eff})^2}{g}}{2}$$

$$V_{eff} = V * \frac{R_c}{R_c + R_v}$$

Dove A_{eff} è l'area di contatto effettiva tra i materiali, K_g è la costante elettrica del vuoto (se aria $K_g=1$); ϵ_0 è la permittività del vuoto e g è la distanza tra le due superfici di contatto, dipendente dalla rugosità delle superfici e dalla pressione. La tensione effettiva all'interfaccia (V_{eff}) è determinata dalle proprietà del polielettrolita, dove R_c è



la resistenza di contatto del materiale, R_V la resistività di massa e V la tensione istantanea applicata tra i materiali a contatto.

Per ottimizzare la forza J-R, la resistività del materiale può essere regolata per migliorare la tensione effettiva alterando l'identità dei portatori di carica mobili. Un materiale ideale per le applicazioni JR è il più resistivo possibile, pur consentendo la migrazione delle cariche (bassa resistività). Questi parametri consentono comunque l'accumulo di carica elettrostatica all'interfaccia, limitando al tempo stesso la quantità di energia persa in corrente di dispersione a causa dell'eccessiva conduttività del materiale.

L'effetto J-R si è rivelato efficace nei sistemi di serraggio elettrostatici nell'industria dei semiconduttori, dove i wafer vengono trasportati e lavorati. Le tecnologie EA estendono l'applicabilità dell'adesione controllabile elettricamente a molti altri usi, tra cui [16] [17] [18]:

- Il fissaggio di oggetti
- Lo strisciamento robotizzato e l'arrampicata
- Le interconnessioni meccaniche ed elettriche
- L'ancoraggio
- Prese e pinze robotiche per la movimentazione dei materiali.

In genere, in un sistema EA vengono impiegati quattro componenti [17]:

1. un cuscinetto EA
2. una fonte di alimentazione ad alta tensione
3. un'unità di controllo
4. un substrato di materiale su cui aderire o da prelevare, come mostrato nella Figura 9.

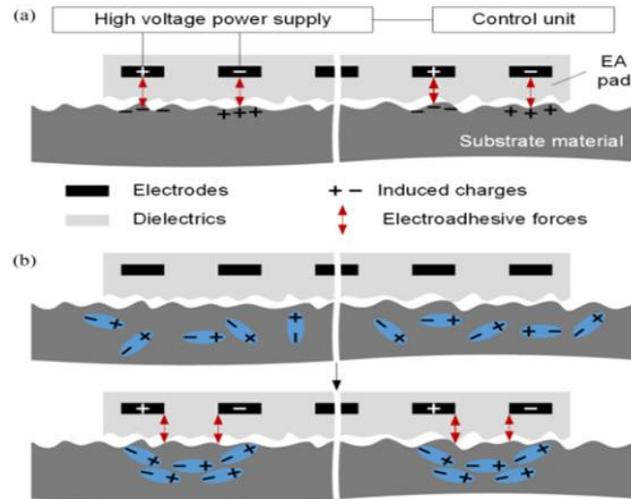


Figura 10- vista in sezione di un sistema EA. (a) Elettroadesione su materiali conduttivi. (b) Elettroadesione su materiali isolanti. "+" indica una tensione positiva, mentre "-" indica una tensione negativa o la terra. Gli spessori non sono riportati in scala.

Il *pad* EA è costituito da coppie di elettrodi planari inseriti in un sottile dielettrico. Una fonte di alimentazione ad alta tensione è collegata agli elettrodi e fornisce corrente alternata diretta con eccitazione unipolare, bipolare o multipolare. Il materiale dielettrico non solo svolge un ruolo importante nell'azione adesiva, ma funge anche da supporto meccanico per gli elettrodi e aiuta a prevenire la neutralizzazione della carica e la rottura dielettrica. Possono essere utilizzati due o più materiali dielettrici, a seconda dei metodi di fabbricazione utilizzati, come specificato nel paragrafo 2.1.2. Un'unità di controllo è collegata alla fonte di alimentazione ad alta tensione per controllare dinamicamente le tensioni applicate al sistema EA [19]. Quando si applica un'alta tensione agli elettrodi, si inducono forze elettro-adesive tra il pad EA e il materiale del substrato. La *deadhesion* può essere ottenuta spegnendo l'alimentazione.

L'elettro-adesione è quindi un meccanismo di adesione controllabile, che da oltre un secolo viene studiato e utilizzato in tutto il mondo. Questo perché rispetto ad altre



soluzioni di adesione esistenti (magnetici o meccanici), presenta diversi vantaggi chiave [20]:

- offre sistemi con una maggiore adattabilità in quanto è in grado di aderire o sollevare quasi tutti i materiali e le superfici (dalle pellicole di alluminio e carte vetrate al calcestruzzo e lastre di vetro)
- può essere utilizzato in ambienti polverosi, a basse pressioni e persino nello spazio.
- riduce la complessità del sistema perché sfrutta materiali leggeri, strutture meccaniche e componenti elettrici di controllo semplici. Al contrario, sistemi di adesione e presa alternativi utilizzano comunemente strutture ad alto consumo energetico.
- consente di realizzare sistemi a basso consumo energetico: la corrente attraverso il cuscinetto è bassa (di solito nell'ordine di μA), nonostante la tensione applicata sia relativamente alta (kV).
- può sollevare oggetti delicati e di valore elevato grazie alla sospensione senza contatto o ai cuscinetti EA morbidi [21].

Per utilizzare al meglio questa tecnologia nelle applicazioni robotiche, è necessaria una comprensione approfondita del principio EA, della progettazione, fabbricazione e dei test. Un'indagine completa sulle tecnologie EA utilizzate nella robotica è altamente auspicabile per orientare e fornire potenziali spunti di riflessione per i futuri utenti o operatori EA. A tal fine, il resto del paragrafo sarà organizzato come segue: una prima parte dedicata al principio di funzionamento del fenomeno, alla quale farà seguito una descrizione del design dei pad EA e dei metodi di fabbricazione. Infine, si fornirà una panoramica sulle applicazioni di tali tecnologie.



2.1.1. Il principio di funzionamento

Quando viene applicata un'alta tensione, in genere da 1 a 6 kV, attraverso gli elettrodi distanziati all'interno del pad EA, si forma un forte campo elettrico tra essi. Quando il pad elettricamente carico è messo a contatto con una superficie conduttrice, sulla superficie del conduttore si sviluppano delle cariche polarizzate e si sviluppa una forza di attrazione tra quest'ultimo e il pad [cfr. Fig. 10(a)].

In alternativa, quando il pad è a contatto con una superficie isolante, una polarizzazione elettrica orientativa e interfacciale [22], si verifica all'interno dei materiali isolanti, con conseguente attrazione tra le cariche prossimali all'interno dei dipoli indotti e il pad [cfr. Fig. 10(b)].

L'accumulo di cariche (e quindi l'accumulo di forza EA netta) richiede un tempo finito che dipende dai materiali e dalla forma del potenziale applicato. Quando l'alta tensione viene rimossa, la forza adesiva decade. Anche questo decadimento ha un tempo finito, tipicamente entro pochi secondi, ma può estendersi fino a ore a seconda del tipo di materiale isolante e di substrato.

Questi tempi di accumulo e decadimento influenzano in modo significativo il ciclo di adesione/deadhesion (figura 11).

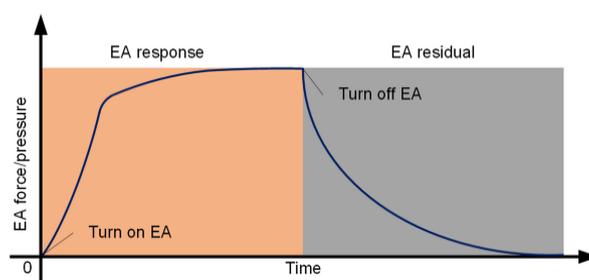


Figura 11- Risposta dinamica elettro-adesiva e curva di forza/pressione residua in funzione del tempo



Si definisce la “risposta EA” come il processo che va dall'inizio dell'applicazione di un'alta tensione fino al raggiungimento della forza elettro-adesiva massima, ovvero quando l'accumulo di cariche indotte è saturo. Il termine “EA residuo” indica il processo che va dal momento in cui l'alta tensione viene scollegata alla completa dissipazione delle cariche residue o intrappolate nei dielettrici EA. Questa caratteristica dinamica (cfr. Fig. 11) è causata principalmente dalla polarizzazione e depolarizzazione in funzione del tempo dei dielettrici che ricoprono gli elettrodi e delle molecole all'interno delle superfici aderenti (per gli oggetti non conduttori). È necessario prestare molta attenzione a questa caratteristica dinamica quando progettazione, produzione, caratterizzazione e applicazione delle tecnologie EA.

La misurazione del tempo di rilascio di un pad EA è quindi essenziale quando si aderisce a oggetti relativamente pesanti o difficili da polarizzare e quando si fa *deadhering* da materiali estremamente leggeri e flessibili. I tempi del ciclo rivestono quindi un ruolo fondamentale nello sfruttamento della tecnologia sul mercato.

Il campo elettrico sviluppato intorno a un tampone EA può essere misurato con un voltmetro elettrostatico, mentre il campo elettrico dinamico può essere visualizzato caricando e scaricando il cuscinetto in un fluido contenente particelle in sospensione. Questi metodi sono utili per comprendere il fenomeno dell'EA dinamico e per indicare le distribuzioni del campo di diverse geometrie di pad [23].

Test del ciclo di vita dei pattini EA sono importanti per fornire informazioni per le applicazioni pratiche di movimentazione dei materiali. Le condizioni ambientali, come l'umidità e la temperatura influenzano in modo significativo la pressione dell'adesivo. È quindi necessario condurre i test di forza EA in una camera controllata o in condizioni di laboratorio stabili e pulite.



2.1.2. EA Pad design e fabbricazione

Un cuscinetto EA è costituito da uno o più elettrodi distanziati incollati (o incorporati) in un materiale dielettrico o semiconduttivo [vedi Fig. 12(a) e (b)]. Due o più materiali dielettrici o semiconduttivi [vedi Fig. 12(c)] possono essere utilizzati, a seconda dei metodi di fabbricazione utilizzati. Agli elettrodi possono essere applicate sorgenti di potenza ad alta tensione unipolari o bipolari.

- Il design unipolare richiede l'applicazione di una sorgente ad alta tensione con uscita positiva o negativa. È più comune per la presa di materiali conduttivi o semiconduttivi, grazie alla sua semplicità e al ridotto rischio di rottura del dielettrico. Non è tuttavia efficace nella presa di materiali dielettrici.
- Il design bipolare richiede l'applicazione di una sorgente ad alta tensione con uscite sia positive che negative. È utile per sollevare sia materiali conduttivi che isolanti.

In questa rassegna, si analizzano solo i progetti bipolari, in quanto di più comune utilizzo per gli EA pad, come mostrato nella Fig. 12.

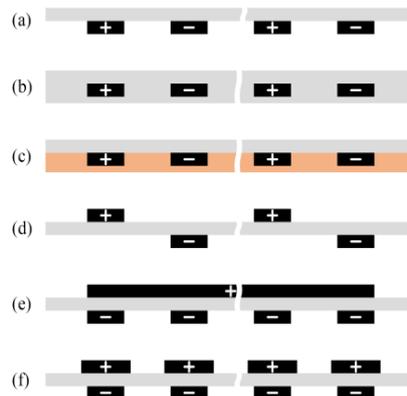


Figura 12- Configurazioni delle piastre EA bipolari.

(a) Elettrodi complanari distanziati (indicati in nero) fissati a un substrato dielettrico (indicato in grigio). (b) Elettrodi complanari distanziati incorporati in un dielettrico. (c) Elettrodi complanari distanziati incorporati in due dielettrici (uno in grigio e uno in arancione). (d) Design dell'elettrodo 1 a doppia faccia distanziata. (e) Design dell'elettrodo 2 a doppia faccia distanziata. (f) Design dell'elettrodo 3 a doppia faccia distanziata. Gli spessori non sono in scala.



Il design più comune delle piastre EA consiste in elettrodi complanari distanziati e inseriti in due dielettrici [Fig. 12(c)]. Le configurazioni di elettrodi EA a doppia faccia [Fig. 12(d)-(f)] hanno mostrato caratteristiche vantaggiose nel raggiungere forze adesive leggermente superiori e resistono meglio al breakdown dielettrico*:

I metodi di fabbricazione associati alle tecnologie EA possono essere classificati in additivi, sottrattivi e additivi-sottrattivi, come riassunto nella Tabella I e nella Fig. 13.

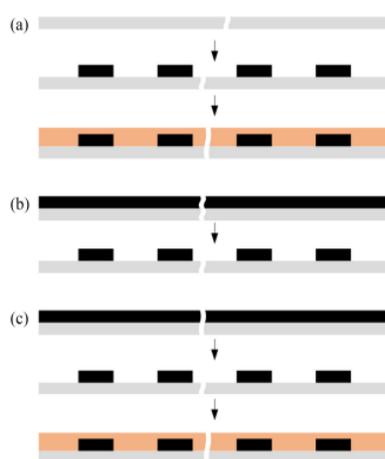


Figura 13- Metodi di fabbricazione di un pad.
(a) Approccio di fabbricazione additiva EA. (b) Approccio di fabbricazione sottrattiva EA. (c) Approccio di fabbricazione additivo-sottrattivo di EA. Gli spessori non sono in scala.

I rilievi EA risultanti possono essere classificati in rigidi (il pad EA non è piegabile e estensibile) [flessibili (il pad EA è piegabile ma non è non estensibile), ed estensibile (il pad EA è pieghevole ed estensibile) [24] [25].

Soluzioni di produzione dei pad (riassunti in tabella 3) EA più precise e personalizzate, adatte a produzione di massa efficiente ed economica saranno necessarie in futuro: l'intuizione di altri approcci maturi alla fabbricazione di elettronica flessibile ed estensibile [26] hanno un potenziale e dovrebbero essere presi in considerazione.

* La rottura dielettrica si ha quando un materiale che in condizioni ordinarie è dielettrico cessa di essere isolante perché sottoposto ad un campo elettrico sufficientemente elevato. In genere la rottura dielettrica è seguita da una scarica che percorre il materiale e può anche danneggiarlo irreparabilmente.



Tabella 3- Metodi fabbricazione pad EA

EA fabrication methods	Specific techniques
Additive	Inkjet printing
	Molding
Subtractive	Screen printing
	Manual cutting
	Machining
Additive-subtractive	PCB or FPCB
	Customized

Metodi additivi

Sono soluzioni di fabbricazione per formare pad EA depositando materiali dielettrici in modo stratificato, come mostrato in Fig. 13(a), che consiste principalmente nelle seguenti tre fasi:

- 1) deposizione dello strato dielettrico di base;
- 2) deposizione dello strato di materiale elettrodico
- 3) deposizione dello strato dielettrico di copertura (opzionale).

I metodi di produzione additiva EA esistenti includono la stampa a getto d'inchiostro [27], la serigrafia [28], le tecniche di stampaggio [29].

- La stampa a getto d'inchiostro di tamponi EA comporta solitamente la stampa di tracce conduttive (come inchiostri d'argento) su un substrato (come la carta) utilizzando una stampante a getto d'inchiostro. Uno dei vantaggi principali di questo metodo è che la stampa a getto d'inchiostro permette di scrivere direttamente l'elettronica su materiali flessibili. La stampa a getto d'inchiostro è, tuttavia, un'attività che non può essere svolta in modo preciso, limitato a un



piccolo sottoinsieme di materiali ed è lenta, costosa e non adatta alla produzione di massa interna [30].

- La stampa serigrafica dei pad EA prevede il trasferimento di materiali su un substrato attraverso maschere a rete utilizzando lame o spatole [31]. Sono però necessarie maschere diverse per i diversi modelli di elettrodi EA.
- I metodi di stampaggio sono stati utilizzati per produrre pad EA estensibili, ma richiedono stampi diversi per le diverse geometrie degli elettrodi EA.

Varie altre tecniche di stampa e di soft litografia non sono state implementate, ma vale la pena di studiarne la fattibilità per i futuri impieghi dell'EA.

Metodi sottrattivi

Tali metodi di produzione sono soluzioni di fabbricazione per produrre pad EA rimuovendo i materiali elettrodi e/o materiali dielettrici indesiderati, come mostrato in Fig. 13(b), che comprendono principalmente due fasi:

- 1) rimozione dell'elettrodo o del materiale dielettrico indesiderato
- 2) incollaggio o laminazione dell'elettrodo e del dielettrico (opzionale).

Il metodo di fabbricazione dell'EA più semplice di fabbricazione dell'EA prevede il taglio manuale del modello di elettrodo e l'incollaggio a un film dielettrico [32]. Questo metodo è a basso costo e di facile attuazione, ma è limitato in termini di ripetibilità e precisione. Taglio laser e taglio di materiale 2D possono essere utilizzati per migliorare la ripetibilità e l'accuratezza della fabbricazione degli elettrodi, ma comportano comunque procedure di incollaggio manuali.



Metodi additivi-sottrattivi

Sono soluzioni di fabbricazione per realizzare pad EA rimuovendo materiali elettrodici indesiderati e poi depositando materiali dielettrici per sigillare gli elettrodi, come mostrato in Fig. 6(c). Si seguono le seguenti tre fasi:

- 1) preparazione del laminato elettrodo-dielettrico;
- 2) rimozione delle aree elettrodiche indesiderate;
- 3) deposizione del dielettrico di copertura.

Questi metodi possono essere facilmente implementati in casa o sono facilmente reperibili in commercio. Sono convenienti ed efficienti per i test interni e la produzione di massa.



2.2. Applicazioni della tecnologia EA

Grazie ai suddetti vantaggi, tra cui la maggiore adattabilità, la ridotta complessità, il basso consumo di energia e la delicatezza nella movimentazione dei materiali, le tecnologie EA sono state ampiamente impiegate nei campi della robotica di strisciamento/arrampicata, unità di aderenza controllabili e attive, e l'aptica. Le cinque sezioni seguenti hanno lo scopo di dettagliare e categorizzare queste applicazioni.

2.2.1. End Effector robotizzati

Nel campo della robotica, l'*end effector* è l'elemento di collegamento tra robot e pezzo in lavorazione. Essi sono necessari in varie applicazioni di movimentazione autonoma dei materiali. I metodi di presa o aggancio robotica sono classificati in quattro categorie [90]:

- 1) *Impactive methods*, che sollevano fisicamente i materiali mediante un contatto diretto, tra cui ganasce e pinze.
- 2) *Ingressive methods*, che penetrano fisicamente nei materiali, come perni e grilli.
- 3) *Astrictive methods*, che impiegano forze controllabili attrattive applicate alle superfici dei materiali, tra cui l'aspirazione, magneto-adesione ed elettro-adesione.
- 4) *Contigutive methods*, che impiegano l'adesione attraverso il contatto diretto, compresi i meccanismi di adesione chimica e termica.

Ogni tecnologia ha i suoi punti di forza e di debolezza e ha le sue applicazioni specifiche [90]. Le pinze robotiche EA presentano vantaggiose rispetto ad altri metodi, soprattutto per il *pick-and-place* di materiali delicati, flessibili e porosi nelle catene di



montaggio. L'applicazione più importante delle tecnologie EA risulta essere sugli *end effectors* per compiti di presa, manipolazione o assemblaggio [33].

Le pinze EA rigide sono utili per raccogliere oggetti di grandi dimensioni, relativamente pesanti e piatti ma non possono essere utilizzate per sollevare forme non piatte. Le pinze EA flessibili possono essere utilizzate per afferrare una più ampia gamma di superfici difficili rispetto alle pinze rigide, come quelle convesse. Le pinze EA estensibili sono solitamente dotate di capacità di mutare forma, il che significa che possono essere utilizzate per adattarsi morfologicamente a forme complesse utilizzando la loro capacità di morphing, per poi raccoglierle con la loro funzione EA. Degli esempi sono riportati in figura 14.

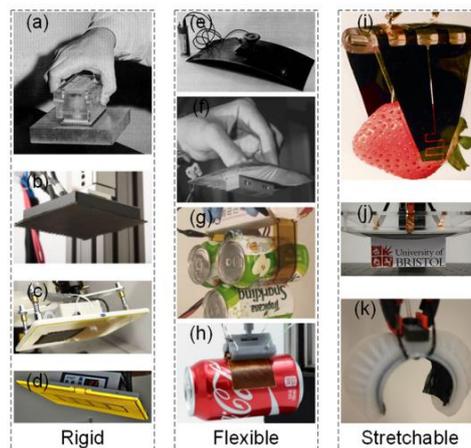


Figura 14- Pinze EA rappresentative.

Rigidi, tra cui (a) l'elettrosensore della NASA, (b) la pinza EA del Fraunhofer IPT, (c) la pinza EA di Schmalz e (d) la pinza EA di Grabit.

Flessibili o conformi, tra cui (e) l'elettroduttore flessibile della NASA, (f) la pinza EA conforme di Monkman, (g) la pinza EA flessibile di Choi e (h) la pinza EA flessibile del JPL.

Estensibili, tra cui (i) la pinza morbida DEA-EA di Shintake, (j) la pinza morbida composita EA-DEA di Guo e (k) la pinza PneuEA di Guo.



2.2.2. Strisciamento e arrampicata robotica

Essi sono robot mobili che possono adattarsi a varie superfici e terreni 2D/3D per svolgere determinate attività, sostituendo l'uomo da compiti rischiosi e pericolosi (come le centrali nucleari) o di difficile accesso (come le condutture) [34]. Esistono tre tecnologie chiave associate alla progettazione e alla prototipazione di robot striscianti e arrampicatori:

- 1) Un metodo di adesione robusto che consenta di aderire in modo affidabile alle superfici delle pareti e del pavimento.
- 2) Un meccanismo di locomozione agile che consenta loro di muoversi.
- 3) Un sistema di attuazione e controllo ad alta efficienza energetica per attivare le funzioni di locomozione.

L'EA è stato utilizzato come cuscinetto di aderenza per tale tipologia di robotica.

I robot di arrampicata EA basati sulla locomozione a cingoli hanno le velocità di locomozione più elevate, ma hanno una capacità limitata di attraversare gli ostacoli. Per le svolte si possono utilizzare doppi binari.

I robot per l'arrampicata basati sulla locomozione Legged-1D impiegano tipicamente lo scorrimento in piano di due o più cuscinetti EA in un corpo relativamente sottile o il collegamento di un muscolo lineare artificiale con due piedi EA. Tuttavia, sono limitati a basse velocità e non sono in grado di superare facilmente crepe e ostacoli.

I robot EA basati sulla locomozione Legged-2D per lo strisciamento e l'arrampicata separano ulteriormente i pad EA dai componenti di attuazione e utilizzano comunemente uno stile di locomozione simile a quello del bruco. Sono in grado di muoversi su terreni più complicati, come fessure, crepe e ostacoli, ma la loro velocità è ulteriormente limitata.

Esempi di legged-1D e legged-2D sono raffigurati in figura 15.

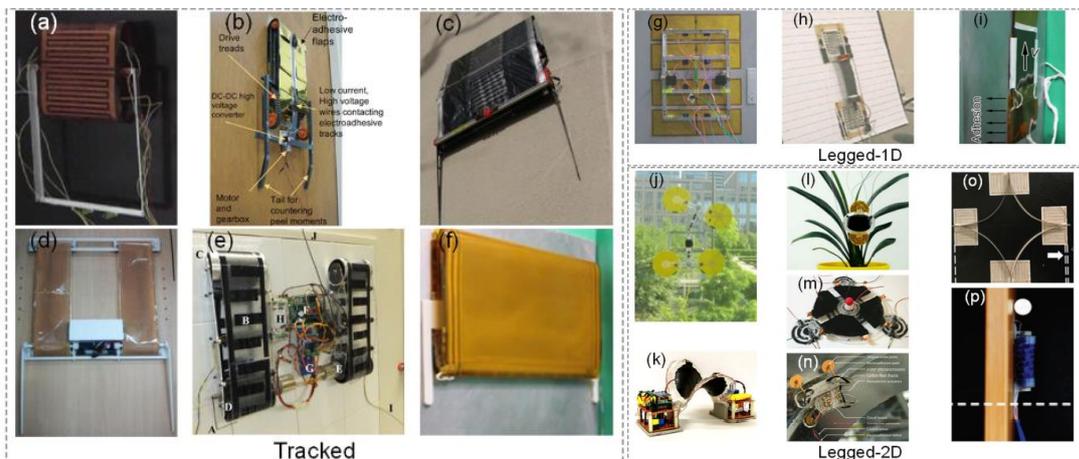


Figura 15- Robot EA striscianti e arrampicatori rappresentativi.

I robot arrampicatori EA cingolati includono quelli sviluppati da (a) Yamamoto, (b) e (c) Prahlad, (d) Chen, (e) Koh e (f) Wang.

I robot arrampicanti Legged-1D EA includono quelli sviluppati da (g) Yamamoto, (h) Prahlad e (i) Wang.

I robot striscianti e arrampicatori Legged-2D EA includono quelli sviluppati da (j) Chen, (k) Zhu, (l) Gu, (m) Digumarti, (n) Wood, (o) Wu e (p) Qin.

I robot che strisciano e si arrampicano separano le piastre EA dai componenti di attuazione e impiegano comunemente uno stile di locomozione a quella di un verme. Possono muoversi su terreni più complicati, come fessure, crepe e ostacoli, ma sono ancora limitati nella velocità. Il controllo di tali robot è semplice, grazie all'intrinseca adattabilità di EA su varie superfici. Tuttavia, attualmente non esistono soluzioni completamente autonome di controllo.

2.2.3. Meccanismi attivi di fissaggio controllabili

Meccanismi di adesione e fissaggio attivi e controllabili (cioè con capacità ON e OFF) sono utili per unire elementi robotici e per assistere le applicazioni di adesione robotica. Tale adesione richiede un basso dispendio energetico, che la rende una soluzione interessante per le unità di adesione di lunga durata. Inoltre, l'EA ha un potenziale interessante per produrre robot modulari estremamente leggeri. Alcuni utilizzi pratici sono riportati nel seguito, con relativi esempi in figura 16:



- Germann et al. [35] hanno impiegato EA come meccanismo di connessione attiva per [24] la robotica modulare.
- Graule et al. [24] hanno utilizzato l'EA come un'unità attiva e controllabile (regolazione del feedback di forza tramite resistenza attiva al carico di trazione) per l'arroccamento robotico al fine di risparmiare energia di volo.
- Guo et al. [36] hanno applicato EA di carta a basso costo per realizzare connessioni controllabili per l'autoassemblaggio di parti modulari.
- Heath et al. [37] ha utilizzato EA come meccanismo di aggancio reversibile e come mezzo di connessione interna controllabile per realizzare strutture composite con funzionalità aggiunte.
- Ruffatto et al. [38] hanno integrato EA con un adesivo ispirato al gecko come ancoraggio alla superficie per prolungare la durata dei compiti.
- Lee et al. [39] hanno utilizzato l'EA come unità di adesione controllabile che assiste la rotazione delle pagine per la scansione automatica dei libri.
- Okuno et al. [40] hanno combinato EA con una ventosa estensibile per migliorare la tenuta e la capacità di sollevamento.

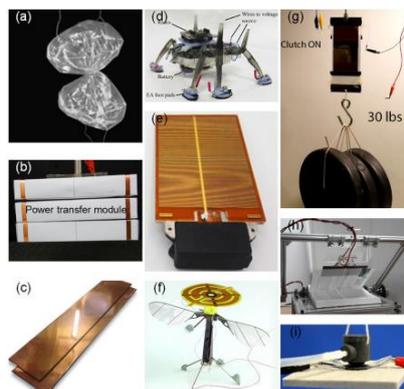


Figura 16- Applicazioni robotiche rappresentative che utilizzano l'adesione robotica EA. (a) Meccanismo di connessione attiva per la robotica modulare. (b) Connessione e trasferimento di potenza elettricamente controllabili con EA su carta. (c) Strutture composite con regolazione della rigidità. (d) Robot striscianti con capacità di rotazione dinamica. (e) Ancoraggio attivo e controllabile della superficie. (f) Meccanismo di sgancio controllabile per la robotica volante. (g) Frizioni elettro attive per applicazioni indossabili. (h) Gira pagina per la scansione automatica di libri. (i) Ventose con tenuta e capacità di sollevamento migliorate.



2.2.4. Dispositivi Aptici

Le tecnologie aptiche sono quelle tecniche in grado di creare il senso del tatto stimolando artificialmente i recettori della pelle umana. Questo si ottiene normalmente impiegando meccanismi meccanici (ad esempio, vibrazioni a ultrasuoni) per stimolare fisicamente la pelle o simulazioni elettriche per colpire le terminazioni nervose. I dispositivi aptici, come i touchscreen e i display tattili, sono impiegati per l'elettronica di consumo portatile come smartphone e tablet, e interazioni uomo-robot o uomo-computer [41].

Sono stati sviluppati due metodi (figura 17) per sfruttare l'EA nel feedback aptico per applicazioni touchscreen:

- L'elettro-vibrazione [42], che utilizza tensioni AC con ampiezza, frequenza e forme d'onda variabili,
- L'elettro-sollecitazione [43], che utilizza tensioni in corrente continua.

Le sensazioni tattili sono prodotte modulando l'attrito tra l'utente e il touchscreen in entrambi i metodi. Essi comportano l'applicazione di una tensione a uno strato di elettrodi conduttivi su uno schermo tattile, inducendo forze elettrostatiche attraenti o di elettro-adesione tra la superficie di contatto e il dito dell'utente.

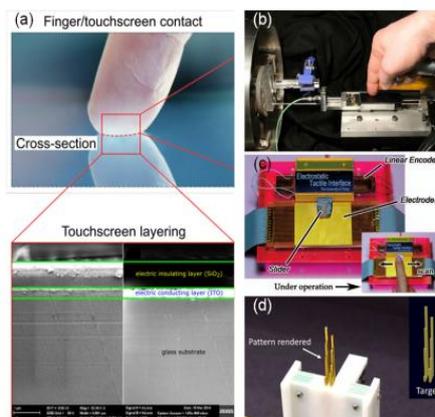


Figura 17- Dispositivi aptici EA rappresentativi.
(a) Touchscreen capacitivo EA. (b) Dito artificiale EA eShiver. (c) Display tattile EA. (d) Display tattile EA.



2.2.5. Applicazioni Spaziali

Lo spazio è un'area intrigante ma impegnativa da esplorare. Questo perché l'ambiente spaziale è estremamente complesso. Le caratteristiche specifiche sono la gravità zero, il vuoto (assenza di aria), la temperatura estremamente bassa/alta e l'intensa irradiazione ultravioletta. L'ambiente spaziale deve essere preso in considerazione nella progettazione e produzione di materiali e strutture EA: tali tecnologie hanno giocato un ruolo importante nelle attività aerospaziali sia all'esterno che all'interno delle cabine aerospaziali. Le loro applicazioni in compiti spaziali sono molteplici: l'attracco, la rimozione di detriti orbitali, l'arrampicamento della superficie e la movimentazione di materiali [44].

Parness [45] ha applicato tecnologie EA in dispositivi di strisciamento/arrampicata e movimentazione di materiali e li hanno testati in un aereo a gravità zero della NASA. Bryan et al. [46] hanno utilizzato le pinze EA come *end effectors* per il prelievo e il posizionamento di materiali in un ambiente spaziale simulato. Recentemente, una collaborazione tra la *Stanford University* e il *Jet Propulsion Laboratory* è stata avviata al fine di sviluppare EA estensibili e in tessuto per l'attracco dei veicoli spaziali, le tute spaziali degli astronauti e le applicazioni di presa per le passeggiate spaziali [47].



2.3. AdapTronics: l'innovazione

AdapTronics propone una procedura per la prototipazione rapida e la produzione su dispositivi elettrosensibili (EAD – Electroadhesive device) flessibili a film sottile realizzati con uno strato dielettrico di poliimmide (PI) commerciale, elettrodi d'argento interdigitati* stampati a getto d'inchiostro e un supporto di incapsulamento in elastomero silconico dielettrico. Questi dispositivi sono inoltre in grado di misurare la pressione di prossimità, di contatto e di presa.

In un EAD, le forze di pressione vengono generate sfruttando l'attrazione elettrostatica tra conduttori elettrici carichi dell'EAD e le cariche indotte sulla superficie dell'oggetto da aderire, in combinazione con l'attrito meccanico. Tuttavia, poiché tra le superfici di accoppiamento sono sempre presenti intercapedini d'aria irregolari e poiché non esiste un dielettrico o un conduttore elettrico ideale in natura, i principi fondamentali esatti che regolano la risposta pratica EAD non sono facili da identificare e sono disponibili solo modelli grossolani con una precisione modelli grossolani con un'accuratezza limitata per stimare le azioni di pressione azioni di pressione da essi prodotte.

Nonostante la fisica complessa e sebbene le pressioni di ritenzione generate possano essere inferiori a quelle prodotte dall'aspirazione sottovuoto e dalla magneto-adesione, gli EAD presentano le seguenti caratteristiche interessanti:

- attivazione elettrica a basso consumo di energia, poiché si comportano tipicamente come condensatori;
- effetto minimo sugli oggetti aderenti, in quanto le azioni elettro-adesive non generano ripercussioni sugli oggetti manipolati;

* Struttura dove la lunghezza della regione tra due elettrodi è aumentata foggando gli elettrodi, o le metallizzazioni che li realizzano, a strisce parallele, come le dita di una mano; tale denominazione, detta anche interdigitato, si applica anche ai dispositivi in cui si trovano strutture del genere: filtro i., trasduttore i.



- applicabilità a una vasta gamma di materiali solidi, tra cui dielettrici, conduttori elettrici e supporti porosi;
- prestazioni di adesione che sono quasi indipendenti dalle dimensioni del dispositivo;
- funzionamento in una varietà di ambienti quali aria, liquidi e vuoto;
- essendo realizzati a film sottile, e quindi molto compatti e leggeri, si adattano a quasi ogni forma e dimensione;
- flessibilità intrinseca e deformabilità permettono di adattare automaticamente la loro forma a quella dell'oggetto.

Il layout classico di un EAD con elettrodi interdigitati è mostrato in Figura 18. Esso è caratterizzato da un'architettura a strati in cui una matrice di strisce di elettrodi, con polarità di carica alternata (rispettivamente rappresentate in rosso e grigio), denominata "coppia di elettrodi", è incapsulata all'interno di due strati dielettrici.

Lo strato dielettrico inferiore (colorato in giallo), chiamato "strato dielettrico principale", è quello a contatto con l'oggetto aderente mentre lo strato superiore (colorato in blu), detto "supporto", isola gli elettrodi dall'ambiente, aumenta la tensione di breakdown del dispositivo (quindi, la pressione massima di prensione) e può essere utilizzato per legare l'EAD a una struttura ospite, se necessario.

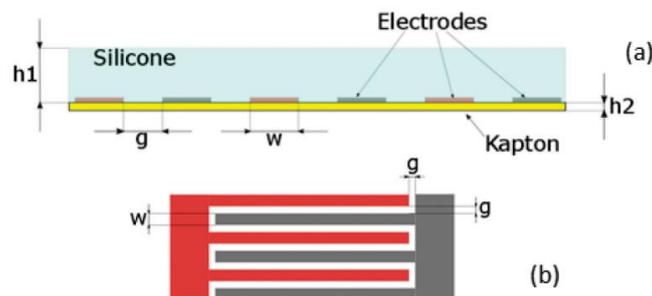


Figura 18- Sezione trasversale del dispositivo elettro-adesivo (EAD) (a) e vista parziale frontale dell'array di strisce di elettrodi (b).



Il supporto può essere rigido, flessibile e/o estensibile. Poiché le forze di prensione sono fortemente influenzate dall'area di contatto tra l'EAD e l'oggetto, la scelta è guidata dai requisiti dell'applicazione. Mentre per gli oggetti piatti (come piatti o strati) un supporto planare e rigido potrebbe andare bene, per quelli aventi una forma variabile o superfici ruvide, è preferibile un supporto flessibile o estensibile, in quanto fa sì che l'EAD adatti la sua forma alla superficie dell'oggetto, riducendo così la presenza di vuoti d'aria e aumentando l'area di contatto.

L'uso di tale supporto complica tuttavia la fabbricazione dell'EAD, in quanto richiede la manipolazione di sottili pellicole, più difficili da gestire, rispetto a wafer rigidi.

Dopo aver descritto il processo di fabbricazione, il capitolo fornisce dei risultati sperimentali di alcuni test condotti e uno dei loro possibili utilizzi nella manipolazione di oggetti di diversa geometria e materiale.

2.3.1. La fabbricazione

Tra i vari metodi di fabbricazione, si è deciso di utilizzare la stampa a getto d'inchiostro, in quanto presenta i seguenti vantaggi rispetto agli approcci precedentemente descritti:

- è un processo senza contatto, che consente di modellare facilmente tracce di elettrodi dalla geometria complessa (ma anche strati dielettrici) con un'alta risoluzione e ripetibilità, lasciando il minimo effetto sul substrato stampato;
- consente di utilizzare un'ampia gamma di materiali come strati conduttivi e dielettrici;
- si adatta bene a un'ampia gamma di scale di produzione, che comprendono la prototipazione, la fabbricazione su richiesta e la produzione industriale su larga scala;



- è un processo relativamente ecologico, che comporta uno spreco minimo di materiale e un uso minimo di sostanze chimiche corrosive.

Gli EAD sono prodotti modellando la coppia di elettrodi tramite stampa a getto d'inchiostro su un film dielettrico prefabbricato e utilizzando il rivestimento a lama per la deposizione dello strato di supporto (elettrodo-incapsulato). Un diagramma che descrive le diverse fasi del processo di produzione complessivo è mostrato in Figura 19.

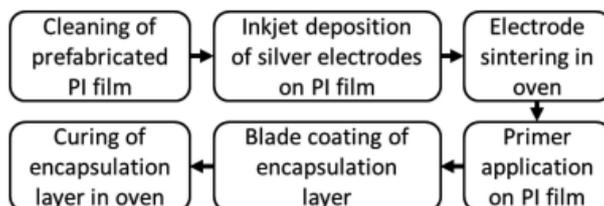


Figura 19- Sequenza di fasi del processo proposto per la produzione di EAD.

Per la rapida disponibilità, la facilità di manipolazione, le adeguate proprietà dielettriche e la flessibilità meccanica, è stato scelto il PI come strato dielettrico principale e l'elastomero di silicone per il supporto. Per gli elettrodi è utilizzato un inchiostro d'argento per elettronica flessibile. Un esemplare di EAD prodotto con il metodo sopra riportato, è mostrato nella Figura 20.

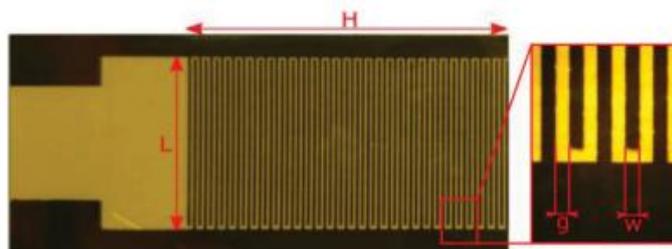


Figura 20- EAD prodotto tramite stampa a getto d'inchiostro e rivestimento a lama: dispositivo completo (a sinistra); dettaglio delle tracce degli elettrodi stampati a getto d'inchiostro (a destra).



In base alle figure 18 e 20, la geometria dell'EAD considerata è la seguente:

Larghezza e distanza degli elettrodi	$w = 400 \mu\text{m}$ e $g = 300 \mu\text{m}$
Spessore del dielettrico principale	$h_2 = 25,4 \mu\text{m}$
Spessore del supporto	$H_1 \approx 290 \mu\text{m}$
Lunghezza e larghezza attiva dell'EAD	$L = 24 \text{ mm}$ e $H = 40 \text{ mm}$

Il risultato risulta essere un EAD con area attiva pari a $A = L \times H = 9,6 \text{ cm}^2$, uno spessore di circa $315 \mu\text{m}$ e un peso di $0,7 \text{ g}$. La produzione di un dispositivo come illustrato nella Fig. 3 richiede circa 112 minuti, più altri 16 minuti per ogni unità aggiuntiva, fino a un massimo di 24 unità che possono essere fabbricate Insieme. La procedura proposta è adatta per la prototipazione rapida e la produzione su richiesta di EAD, e può essere anche scalabile per una produzione di grandi dimensioni.

2.3.2. Fase di test

Sette esemplari di EAD nominalmente identici sono stati prodotti con la procedura proposta e poi sottoposti a test elettrici e meccanici.

I test di forza tangenziale hanno dimostrato la capacità dei campioni di aderire bene a diversi substrati, anche se le prestazioni dipendono dal materiale e dallo spessore dell'oggetto (figura 21).

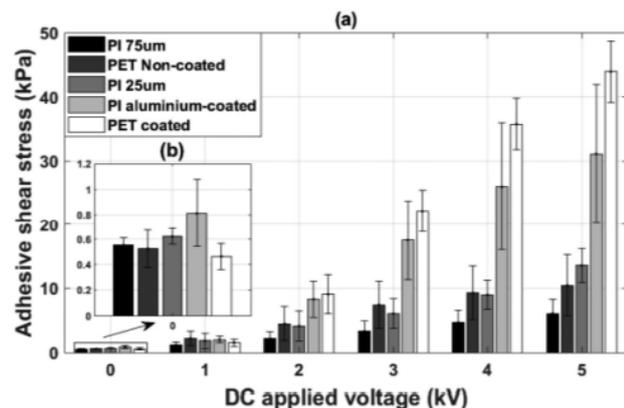


Figura 21- Sollecitazione di taglio per elettroadesione (ESS) misurata: valori medi (colonna) e deviazione standard (barra d'errore) valutati per sette campioni EAD fabbricati nominalmente identici. (a) ESS in funzione della tensione di attivazione dell'EAD per diversi campioni di pellicola. (b) zoom per il caso senza tensione applicata.



In particolare, in tabella 4 sono riportati gli sforzi di taglio* massimi registrati:

Tabella 4- Sforzi di taglio massimi registrati

Tipologia rivestimento	Tensione di attivazione EAD	ESS
Polietilene tereftalato	5 kV	48,68 kPa
PI alluminato		41,99 kPa
PI (25 μm)		16,21 kPa
polietilene tereftalato non rivestito		15,24 kPa
PI (75 μm)		8,31 kPa

Inoltre, le sollecitazioni di taglio di picco di 56,67 kPa e 45,78 kPa sono stati raggiunti rispettivamente per il film di polietilene tereftalato rivestito a 8,3 kV e per il film di poliimmide alluminato a 7,6 kV (figura 22).

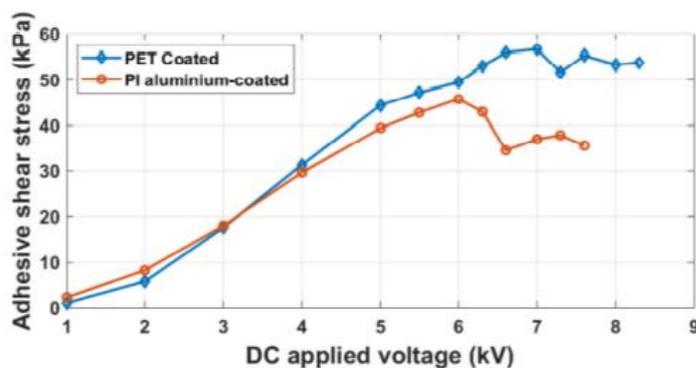


Figura 22- Sollecitazione di taglio per elettro-adesione (ESS) in funzione della tensione applicata per PET rivestito e PI alluminato fino alla rottura del provino EAD.

Questi valori sono tra i più alti riportati in letteratura per materiali EAD e substrati aderenti simili. Per tutti i substrati testati, la sollecitazione di taglio di adesione è

* Lo sforzo di taglio è una trazione diretta lungo l'adesivo, che forza i substrati a scorrere l'uno sull'altro. In questo caso, la forza è allineata e distribuita lungo tutta l'area della linea di incollaggio.



umentata con la tensione di attivazione dell'EAD e ha mostrato una saturazione significativa per tensioni di attivazione superiori a 6 kV.

La misurazione elettrica durante il funzionamento dell'EAD con un'alimentazione limitata a 50 μ A ha evidenziato tempi di risposta rapidi (11 ms per l'attivazione iniziale e 0,3 s per l'elettrificazione completa) e un ridotto fabbisogno energetico (da 1,3 mJ per l'attivazione iniziale a 20 mJ per l'elettrificazione completa e con un successivo consumo di energia di circa 1 mW per il mantenimento della presa a lungo termine).

2.3.3. Applicazioni sperimentali

Per validare i campioni EAD fabbricati nella manipolazione di oggetti comuni, è stata realizzata una semplice pinza con due EAD appesi in senso opposto. Una foto di quest'ultima e di un suo utilizzo nella presa di una bottiglia di vetro è mostrata nella Figura 23.

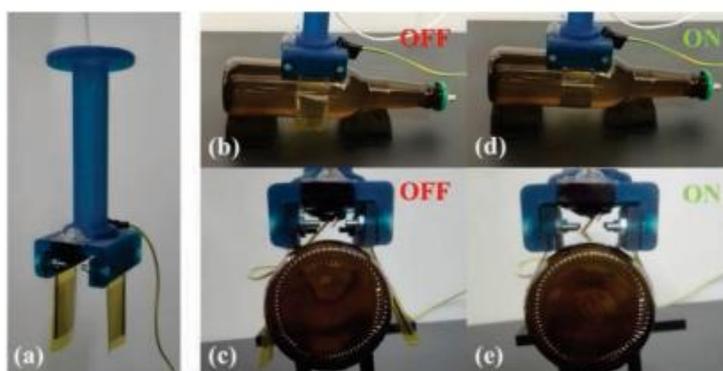


Figura 23- pinza robotica realizzata con due EAD appesi opposti e il suo utilizzo per la presa di una bottiglia di vetro: (a) embodiment della pinza; (b) pinza aperta senza tensione, vista laterale; (c) pinza aperta senza tensione, vista assiale; (d) pinza chiusa dopo l'attivazione elettrica, vista laterale; (e) pinza chiusa dopo l'attivazione elettrica, vista assiale.

In particolare, le Figure 23(b)-(e) mostrano la capacità degli EAD flessibili realizzati di chiudersi automaticamente intorno all'oggetto da afferrare (dopo l'attivazione elettrica, utilizzando la stessa pressione di attrazione elettrostatica che genera l'azione



di ritenzione. Infatti, se l'EAD e l'oggetto si toccano in qualche punto [come mostrato nelle Figure 23(b) e 23(c)], l'attivazione elettrica fornisce un'azione di chiusura che fa flettere l'EAD, adagiandolo sulla superficie dell'oggetto [come mostrato in Figure 23(d) e 23(e)].



3. NEW SPACE ECONOMY

Con il termine *New Space Economy* si fa riferimento ad un nuovo trend, che sfrutta i progressi tecnologici ottenuti nel campo dei lanci spaziali e dei piccoli satelliti allo scopo di predisporre, migliorare e mantenere architetture molto ambiziose nello spazio. Il panorama è cambiato radicalmente negli ultimi anni, e si prospettano cambiamenti ancora più grandi (Figura 24).



Figura 24- Il settore spaziale ha fatto molta strada e sembra pronto per una crescita futura

Le innovazioni nella produzione, nella propulsione e nella riutilizzabilità hanno reso più facile ed economico che mai raggiungere e operare nello spazio. Con l'ingresso di



nuove aziende del settore privato, il ritmo dell'innovazione si è accelerato e i costi sono diminuiti negli ultimi decenni. Nello specifico nel caso di missioni in orbita LEO:

- Costi di lancio: sono scesi di oltre il 95%, passando da 65.000 \$/kg ad appena 1.500 \$/kg per i lanci verso l'orbita terrestre bassa (LEO) [48].
- Costo dei satelliti: nell'arco degli ultimi 30 anni si è assistito alla diminuzione di 3 ordini di grandezza dei costi relativi alla costruzione di un satellite. Se il satellite SBIRS* (lanciato nel 2007) costò 3 miliardi di dollari, oggi invece piccoli satelliti LEO sono costruiti ad un costo di circa 100 mila dollari [49].

Queste diminuzioni di costo hanno abbassato le barriere all'ingresso, portando a una crescita del numero di aziende spaziali in grado di raggiungere e operare in orbita. I progressi nella produzione di massa, la stampa 3D e i nuovi veicoli di lancio completamente riutilizzabili, progettati per rendere più pratico il viaggio lunare e di inviare carichi utili di oltre 100 tonnellate, potrebbero ridurre ulteriormente i costi di lancio e aprire ulteriori possibilità.

Per tali motivi, i business case nel settore hanno subito un cambiamento rispetto al passato, determinando il nuovo concetto di *new space economy*.

Nella figura seguente sono comparati gli *use cases* di tale settore degli anni '90 rispetto a quelli di oggi.

* Lo Space-Based Infrared System (SBIRS) è un sistema della United States Space Force destinato a soddisfare le esigenze di sorveglianza spaziale a infrarossi del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti per i primi due o tre decenni del XXI secolo.



1990s-2000s space sector

Today's space sector

Example: Commercial satellites from ~40% to ~90% of satellites launched'

Demand for scientific exploration drove development of the International Space Station, launch of Great Observatories, and planetary missions

Satellites primarily used for military and personal communication purposes (~40% of satellites launched in 1990 used for communications)

- **High latency** communications (high-and low-bandwidth)
- Broadcast
- **Earth observation and other activity from GEO/MEO (medium-Earth orbit)** (~60% of satellites launched in the early 1990s were intended for non-LEO destinations)

Extensive development of new or expanded space-for-Earth use cases (eg, change detection, emissions monitoring) with pursuit of real commercial value generation potential and customers outside of government and the aerospace and defense sector

Recognition of potential for space-for-space applications (eg, power generation in space, on-orbit servicing)

Hosted payloads enable much expanded access to space for smaller players and science missions

Satellite applications span government and commercial sectors, with ~90% of satellites launched in 2021 being for commercial use cases

- **Low-latency**, high-bandwidth communications
- Low-cost, narrowband IoT
- **Increased activity from LEO** (~98% of active satellites launched in 2021 operate in LEO)

Figura 25- Applicazioni e use cases (anni '90 rispetto ad oggi)

Secondo l'ultimo *space economy report* rilasciato dall'azienda di consulenza spaziale Euroconsult, il valore globale della space economy ha totalizzato 370 miliardi di dollari nel 2021, che diventeranno più di 500 entro il 2030 [2] [50].

Anche a livello di investimenti di Venture Capital, il settore della space economy si dimostra sempre più attrattivo. In particolare, dal 2012 a oggi il settore conta 1.694 aziende che hanno raccolto un totale di 252,9 miliardi investimenti in capitale di rischio [51].

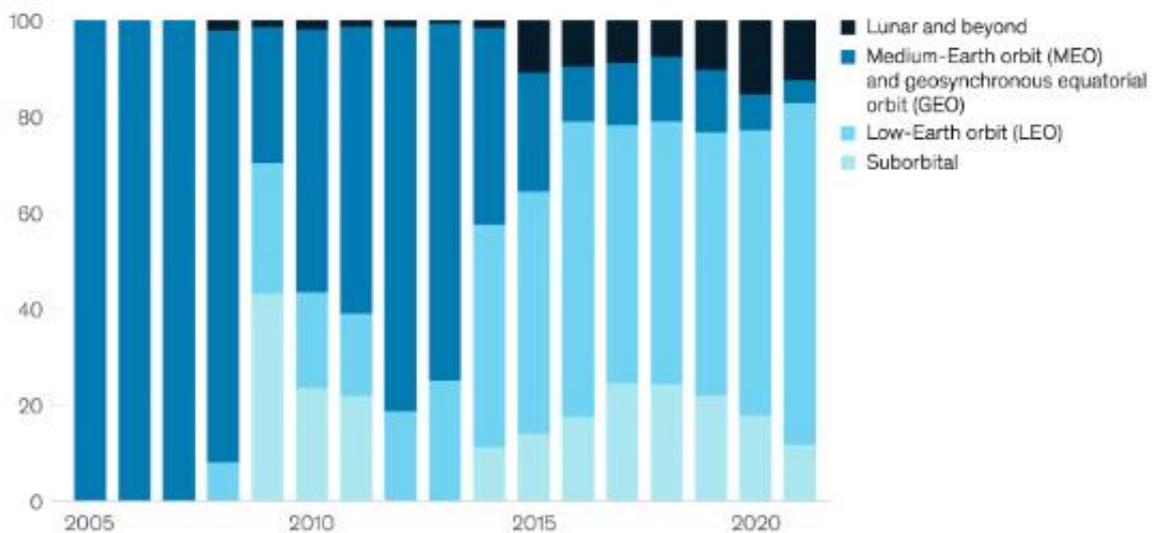
Per quanto riguarda l'Italia, il Bel Paese si colloca al sesto posto nel mondo per investimenti in rapporto al PIL e al terzo posto in Europa, contribuendo, solo nel 2021,



con 589,9 milioni di euro al budget dell'European Space Agency (ESA).

Da un'analisi condotta da McKinsey & Company [52], si può desumere che gli investimenti di ventures degli ultimi anni sono sempre più mirati verso tecnologie in orbita LEO come mostrato in figura 26.

Share of private funding for space-related companies, by orbital-regime focus,¹ %



¹Includes funding from space-related companies founded since 2000. Each company receiving funding was tagged by orbital-regime focus based on review of company's website and of public press; funding estimates were split between different orbital regimes where appropriate. Reflects three-year rolling average. Source: Capital IQ; company websites; Crunchbase; public press; McKinsey analysis

Figura 26- I finanziamenti privati sono aumentati per le iniziative che coinvolgono i regimi lunari, oltre orbitali e in orbita LEO (Fonte: McKinsey)

Questi numeri inglobano molte attività: lo sviluppo dei lanciatori, di nuovi materiali, servizi offerti dai satelliti per l'osservazione della terra, le missioni scientifiche, di esplorazione del cosmo e, in generale, della logistica spaziale. Nel seguito sarà approfondito quest'ultima tipologia di business.



3.1. La Logistica spaziale

Con 732 milioni di dollari raccolti negli ultimi cinque anni, la logistica spaziale è una delle aree di investimento più giovani e fertili, che prevede di generare un valore di mercato di 4,4 miliardi di dollari entro il 2031 [53].

Nel documento *“Space Logistics Market”*, Euroconsulting analizza le dinamiche delle attività che potranno beneficiare della crescita da qui al 2031 grazie ad un insieme nascente ma in crescita di servizi spaziali in orbita, da articolare come un ecosistema logistico spaziale, dal lancio alla fine del ciclo di vita del satellite, è in fase di sviluppo da parte di oltre 50 aziende.

I fornitori di logistica spaziale sono pronti a integrare la catena del valore satellitare esistente offrendo flessibilità, personalizzazione, efficienza dei costi e maggiore sostenibilità per gli operatori satellitari. Tuttavia, il mercato della logistica spaziale è ancora in fase iniziale, con poche dimostrazioni in orbita realizzate negli ultimi cinque anni. Gli attori governativi giocheranno un ruolo chiave sbloccando i finanziamenti per aumentare il TRL, fornendo un quadro normativo adeguato e diventando i possibili primi clienti.

Nel report sono stati evidenziati le sei aree di business, schematizzate in figura 27, che ricopriranno un ruolo fondamentale nella logistica in orbita nel prossimo decennio:

- Accesso allo spazio: lancio del carico utile dalla Terra alle orbite;
- Logistica dell'ultimo miglio (LML): mobilità nello spazio attraverso veicoli di trasferimento orbitale (esclude gli stadi superiori dei lanciatori);
- Servizi di estensione della vita (LES): servizi di mantenimento della stazione, backpacking o rifornimento;
- Active debris removal (ADR): rimozione di detriti grazie a soluzioni di terzi;
- Assemblaggio e produzione in orbita (OOAM): costruzione di beni e attività in microgravità attraverso l'aggancio, il dispiegamento o l'additive manufacturing;



- Consapevolezza della situazione spaziale (SSA): conoscenza e caratterizzazione degli oggetti spaziali attraverso l'utilizzo di sensori a terra e in orbita.



Figura 27- Principali aree di business del settore spazio nel 2031 (Fonte: Euroconsult)

Si rende necessaria un'ulteriore clusterizzazione di tali attività, al fine di meglio definire il mercato di interesse per la start-up in esame. Si utilizza il termine IOS per identificare tutte le attività di servizi in orbita (*In-Orbit Services*). Queste ultime sono concettualmente associate alle RPOs (*Rendez-vous e Proximity Operations*) che identificano l'insieme di tutte quelle operazioni che coinvolgono manovre nello spazio effettuate da due oggetti in volo, solitamente una navicella (*chaser*) ed una stazione orbitante intorno alla terra (*target*). Questi servizi, insieme all'ADR (*Active-Debris Removal*), ricoprono solo parte del mercato della logistica aerospaziale, ma risultano di particolare interesse per la presente analisi.



3.2. In-Orbit Servicing

Seppur con un minimo comune denominatore identificato nelle RPOs, l'IOS è un grosso calderone che include una serie di attività (riportate anche in figura 28):

- Ispezione e riparazione di sistemi obsoleti
- Sostituzione e potenziamento dei sistemi in disuso
- Rifornimento dei serbatoi di propellente (per riattivare la capacità di propulsione per il mantenimento della stazione e/o l'innalzamento dell'orbita)
- Integrazione di sistemi aggiuntivi per aumentare le capacità esistenti
- Assemblaggio di *space-hardware* direttamente in orbita
- Bonifica e riduzione rischi derivanti da collisioni dovute ai detriti spaziali (e *De-Orbiting*)

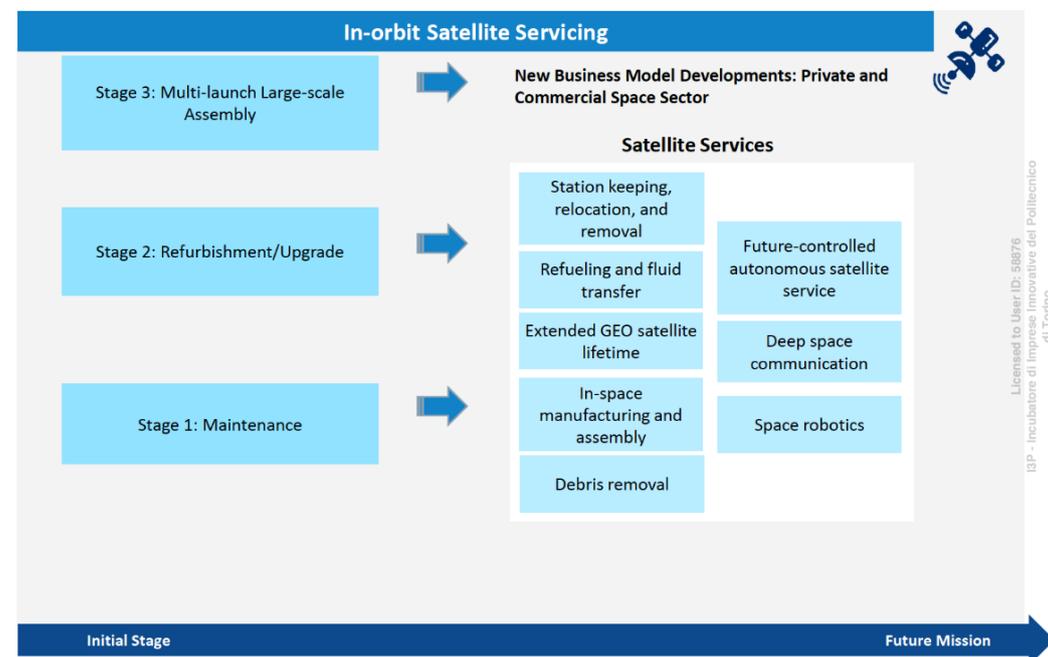


Figura 28- Attività incluse nei servizi IOS (Fonte: McKinsey)



Queste attività potrebbero interessare non solo il settore manifatturiero spaziale, ma anche influire sull'ambiente assicurativo legato allo spazio e consentire un risparmio in conto economico per gli attori spaziali pubblici e privati, favorendo così l'investimento in altre tecnologie innovative.

A titolo esemplificativo [54]:

- Un *life-extension service* di un satellite che ha subito un malfunzionamento in *Beginning of Life* vuol dire salvare investimenti nell'ordine del miliardo: si pensi che, tralasciando gli aspetti assicurativi, il MEV-1¹ costa ad Intelsat 15 milioni di dollari all'anno per il servizio fornito al suo satellite IS-901. Cifra che risulta irrisoria di fronte a CAPEX di 400 milioni di dollari in caso di eventuale sostituzione dello stesso.
- La stessa Intelsat ha subito una perdita di oltre 500 milioni di dollari, a causa del mancato ROI dovuto al fallimento del satellite IS-29e². Nel 2019, a soli tre anni dal lancio a fronte di un lifecycle medio di 15 anni, il sistema di propulsione del satellite ha subito una disfunzione che ha generato una perdita di carburante, portando ad un'interruzione del servizio ai clienti. Nello stesso anno sono stati rilevati dei detriti vicino all'IS-29e, e oggi quest'ultimo sta precipitando e andando alla deriva [55].

Per quanto riguarda il settore assicurativo in orbita, essa offre protezione contro diversi tipi di rischio (ad esempio: disfunzioni del veicolo, rischi dell'ambiente, responsabilità civile). Oggi i tassi per il puro rischio di lancio variano, in funzione anche della qualità del lanciatore, dal 5% (era inferiore al 3% fino al 2019) al 18% sul valore

¹ Mission Extension Vehicle-1: tipologia di spacecraft progettata al fine di estendere la vita funzionale di un altro veicolo in orbita attraverso un servizio in orbita, di proprietà della Northrop Grumman (2020)

² Satellite di Intelsat lanciato in orbita nel 2015



del satellite, più costo del lancio, costi finanziari e assicurativi etc. I tassi per la copertura del rischio in orbita possono invece spaziare dallo 0,4% al 2% annuo [56].

Una collisione con detriti spaziali o altri veicoli spaziali è ancora considerata un evento a bassa probabilità e per il momento non influisce sui premi assicurativi (*Swiss Re Corporate Solutions, 2018*), ma la visione è destinata a cambiare nei prossimi anni con l'avvento della *New Space Economy*.

Traducendo il tutto a parole, il business esiste e offre ottime prospettive di crescita: le opportunità per chi acquista un servizio di IOS sono molto attraenti per svariati motivi. Fra questi i più importanti sono:

- **Il posticipo dei Capital Expenditures (CAPEX):** i CAPEX sono flussi di cassa in uscita per la realizzazione di investimenti in attività immobilizzate. Se fosse possibile prolungare la vita utile dei satelliti, garantendo interventi di manutenzione, sarebbe possibile effettuare meno lanci di nuovi satelliti, destinando i CAPEX risparmiati allo sviluppo di nuove tecnologie;
- **Il consolidamento del Return On Investment (ROI)** su asset già in orbita, nel momento in cui si avesse la possibilità di garantire servizi di IOS e ADR al fine di evitare disfunzioni o collisioni che possano portare ad una perdita dell'asset.

Si rende pertanto necessario offrire soluzioni che possano mitigare questi tipi di rischi e garantire un'adeguata assistenza in orbita, tramite l'erogazione efficace di IOS e, in un futuro più prossimo, di ADR. Quest'ultimo servizio sarà oggetto di discussione nel capitolo successivo, ci si concentra ora sui servizi in orbita.



3.2.1. Suddivisione Dei Servizi

Una prima classificazione viene fatta in funzione del numero di satelliti nelle diverse orbite, che potrebbero potenzialmente presentare necessità di interventi in orbita (Tabella 5).

Tabella 5- Suddivisione dei satelliti nelle varie orbite (Fonte: Astroscale)

Orbit Type	Number of Satellites	Average Weight (Kg)
LEO	3,326	308.8
SSO	492	146.9
MEO	131	896.7
GEO	188	4,492.4
Others	199	834.2

Gli operatori satellitari hanno lanciato 4.336 satelliti tra il 2015 e il terzo trimestre del 2021, di cui il 76,7% in LEO, l'11,3% in SSO, il 3% in MEO, il 4,3% in GEO e il 4,5% in altre orbite.

Essendo l'IOS una categoria che include attività molto diverse tra loro, si rende necessaria un'ulteriore **distinzione sulla base dei business case**, separando anche in questo caso le valutazioni in funzione che si parli della GEO o della LEO [57].

La tabella 6 riassume tali informazioni.

Tabella 6- Distinzione delle attività IOS in funzione dell'orbita

	GEO	LEO E NON-GEO
BUSINESS CASE PRINCIPALI PER IOS	<ul style="list-style-type: none"> • De-Orbiting • Relocation • Ispezione asset obsoleti • SSA • Life-Extension Services • Robotics • Assembly in-orbit 	<ul style="list-style-type: none"> • De-Orbiting • Relocation • Ispezione asset obsoleti • SSA • ADR
STAKEHOLDERS PRINCIPALI	Attori Commerciali	Attori Istituzionali



Alcune attività sembrano avere un terreno più fertile in base all'orbita in cui sono richieste. Durante il *Global Satellite Servicing Forum*, una conferenza del gruppo industriale CONFERS (*Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operations*), sono stati intervistati alcuni esperti del settore [58].

In merito alle operazioni di ADR T. Bennett, cofondatore di Starfish Space (società di servizi satellitari) afferma che "il cliente pagante non è quello che occasionalmente evita una macchia di vernice o un pezzo di detrito, ma è colui che possiede una costellazione e trova utile mantenere quella zona orbitale pulita" e a questi si aggiungono i governi: l'agenzia spaziale giapponese JAXA, ad esempio, ha assegnato ad Astroscale un contratto per l'ispezione di uno stadio di razzo giapponese esaurito lasciato in orbita, con l'intenzione di rimuoverlo in seguito.

Dall'altra parte, è improbabile che le costellazioni LEO siano clienti per l'estensione della vita dei satelliti o per altri servizi, ha previsto K. Stolleis (responsabile della robotica presso la Direzione dei veicoli spaziali dell'Air Force Research Laboratory). Egli sostiene che "il rifornimento di carburante in LEO ha senso solo in circostanze limitate, è più economico costruire un nuovo satellite e lanciarlo, e smaltire quello vecchio, piuttosto che cercare di rifornirlo".

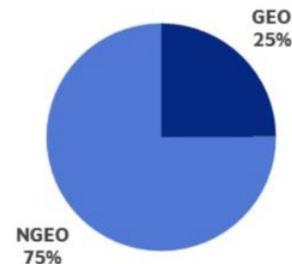
Stolleis ha proseguito sostenendo che la situazione è diversa in GEO: i satelliti GEO vengano lanciati con una durata di vita prevista di 15-20 anni, che oggi è standard per questi veicoli spaziali, ma con solo pochi anni di carburante a bordo, per poterne ridurre la massa. Questi satelliti potrebbero poi essere riforniti regolarmente da veicoli di assistenza satellitare, che smaltirebbero il satellite in un'orbita cimiteriale al termine della sua vita.

D. Kasaboski, manager di NSR, ha condotto un'analisi su rischi, sfide e opportunità tecnologiche dei servizi IOS, soffermandosi sull'andamento della richiesta di questi



servizi nei prossimi 6 anni (figura 27) [59].

L'autore afferma che il 75% della domanda sarà determinata da satelliti Non-GEO (NGEO in figura). Tuttavia, la GEO controllerà oltre il 66% dei ricavi cumulativi generati entro il 2029, a causa della maggiore complessità delle missioni in orbite più alte.



Nella quinta edizione del “In-Orbit Services: Satellite Servicing, ADR, and SSA” redatto da NSR [57] è riportata una previsione dei ricavi cumulati suddivisi per servizio dei servizi di IOS nei prossimi 10 anni, suddivisi come in figura 30.

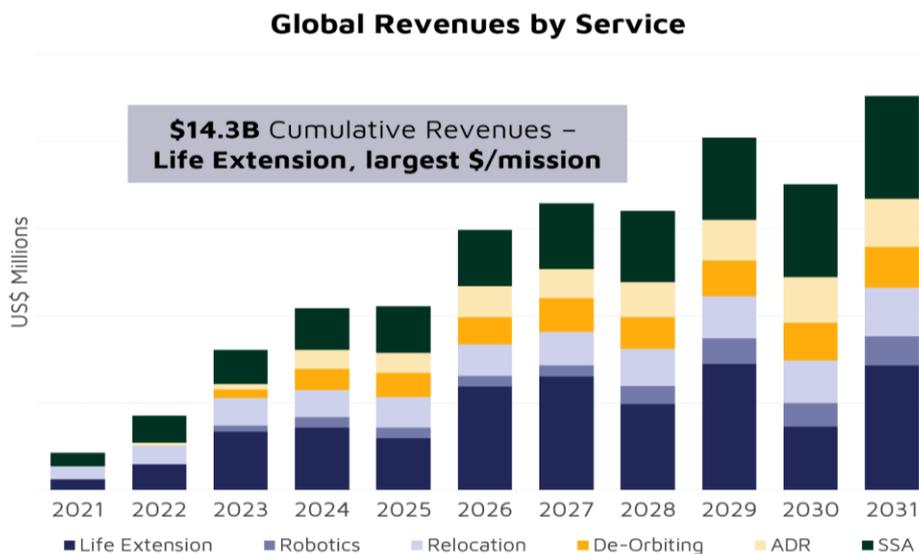


Figura 30- Porzione di SAM che può essere catturata dall'offerta attuale o potenziale futura per servizi specifici

3.2.2. Drivers e vincoli crescita del mercato

In figura 31 si riportano i principali drivers di crescita relativi al mercato dell'IOS, come riportato sul report “Global in-orbit e de-orbit services growth opportunity” [60].



Drivers	1–2 Years	3–4 Years	5–10 Years
The fast-growing NewSpace market is driving multiple commercial participants to enter the space industry.	High	High	High
More satellites are launching (mega constellations).	High	High	High
Demand is growing for sustainable space operations.	High	High	High
The regulatory framework is evolving (connecting to NewSpace market).	High	Medium	Low
Geosynchronous equatorial orbit (GEO) satellites nearing the end of their mission lives require in-orbit servicing support.	Medium	High	High
Established incumbent and NewSpace start-ups are successfully demonstrating their ability to provide in-orbit servicing and de-orbiting services.	Medium	Low	Low

Figura 31- Fattori di crescita mercato IOS, anni 2021-2030

Una stessa analisi (figura 32) è stata condotta relativamente ai fattori che possono frenare, o fungere da vincolo alla crescita di tale mercato.

Restraint	1–2 Years	3–4 Years	5–10 Years
Participants are deploying built-in de-orbiting capabilities (in satellites).	High	High	Medium
Multiple low Earth orbit (LEO) assets are replacing GEO assets.	High	Medium	Medium
In-orbit servicing operations are expensive.	High	Medium	Medium
The regulatory framework for the NewSpace market is delaying its evolution.	High	Medium	Low
Satellite missions are increasingly depending on self-cleansing mission designs.	Medium	High	High
The delay in access to serial production capabilities will scale up de-orbiting services.	Medium	Low	Low

Figura 32- Vincoli alla crescita del mercato IOS, anni 2021-2030



3.2.3. Trend futuro

Come riportato in figura 33, presa dallo stesso report di *Frost & Sullivan*, si assisterà ad un boom della domanda dei servizi IOS nell'arco dei prossimi dieci anni. Nella visione ottimistica si raggiungerà una domanda di interventi per oltre 37.000 satelliti.

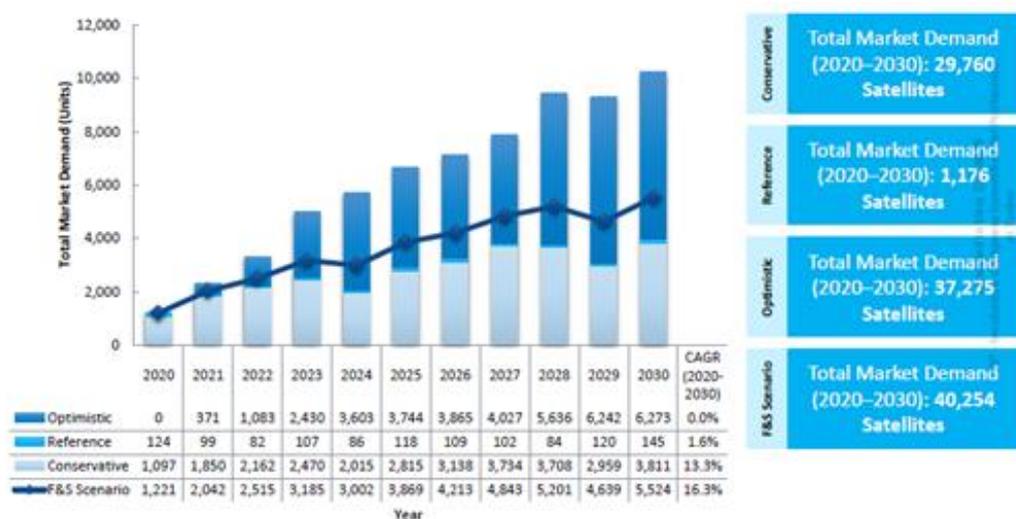


Figura 33- In-orbit e De-orbiting services: previsioni di mercato per scenari diversi, anni 2020-2030

Nell'arco dei prossimi 5 anni il potenziale di mercato per i servizi di IOS ammonta ad una cifra totale di 600 milioni di dollari nella migliore delle ipotesi. Negli schemi di figura 34, sono riportate le "key activities" a cui dovranno affidarsi gli attori che entreranno in quei specifici segmenti di mercato nell'arco dei prossimi 3 anni.





Frost & Sullivan Has Identified 10 Growth Processes that Serve as Levers for Determining and Evaluating New Growth Opportunities.



Frost & Sullivan Has Identified 10 Growth Processes that Serve as Levers for Determining and Evaluating New Growth Opportunities.



Frost & Sullivan has identified 10 Growth Processes that serve as levers for determining and evaluating new Growth Opportunities.



Figura 34- Opportunità di crescita e key activities (inizio anno 2022):

(a) servizi life-extension per i satelliti di grandi dimensioni, (b) capacità di manifattura nello spazio per l'aumento della domanda di satelliti, (c) robotica spaziale per i servizi IOS, (d) servizi di gestione del traffico spaziale



Prendendo a riferimento il caso di best case, si può calcolare il valore atteso delle dimensioni del mercato previste per il 2030. Dati iniziali:

- Valore Mercato al 2026: 300M + 100M*3 (da report Sullivan, in caso ottimistico)
- CAGR: 17,3% [61]
- Numero anni: 4

$$\text{Valore Mercato 2030} = 600\text{M} * (1 + 0,173)^3 = 970 \text{ M}$$

Si ottiene una **previsione di mercato entro il 2030 superiore a 1,1 miliardi di dollari** per quegli attori che entreranno nel mercato nel triennio 2022-2025. Previsione, questa, che risulta essere ancora più rosea stante il report *“In-Orbit Servicing & Space Situational Awareness Markets”* (Northern Sky Research, Cambridge 2021) nel quale si prevedono ricavi entro il 2030 per un **valore totale cumulato di 6,2 miliardi di dollari**.

3.2.4. Panorama Competitivo

Azienda	Anno Fondazione	Headquarter	Servizi offerti
Astroscale	2013	Tokyo, JAP	Life Extension, ADR
Spacelogistics (Northrop Grumann)	2017	Virginia, USA	Space logistic
D-Orbit	2011	Como, ITA	Last-miles space logistic
LMO Space	2018	Didcot, UK	SSA, tracking di oggetti nello spazio
Infinite Orbits	2017	Toulouse, FRA	SSA, Ispezione asset, Relocation, Life-Extension
Space Machines Company	2018	Adelaide, ASTL	Assembly in-orbit, Cargo transport
Scout Aerospace	2017	Atlanta, USA	Orbital Transfer Vehicles
Orbital Express	2020	Moscow, RUS	Space Tugs for transportation, De-orbiting, Relocation



Tra le aziende più rilevanti per i servizi IOS si possono identificare:

- **Astroscale**

Tra le società meglio posizionate per essere protagoniste del successo del settore c'è Astroscale, fondata nel 2013 in Giappone, che finora ha raccolto più di 200 milioni di dollari in poco più di 5 round di investimento.

L'azienda nasce con l'obiettivo di offrire missioni di ADR, ma nel corso dell'ultimo anno ha anche rilevato la società anglo-israeliana Effective Space, acquisendo allo stesso tempo la proprietà intellettuale e le capacità connesse ai servizi di life-extension, preparando un'entrata anche in altri mercati in ambito IOS.

- **LMO Space**

La startup britannica LMO Space fornisce servizi di SSA e di sorveglianza e tracciamento dello spazio (SST). Le soluzioni della startup utilizzano un'intelligenza artificiale integrata che consente ai satelliti di rilevare gli oggetti vicini ed evitare le collisioni. Per ottenere questo risultato, LMO Space combina i dati dell'elaborazione delle immagini con le letture dei sensori ottici, LWIR (long-wavelength infrared) e LIDAR (light detection and ranging). Le soluzioni della startup trovano impiego anche nell'osservazione della Terra, nel tracciamento di asteroidi e nell'identificazione di oggetti planetari.

- **Infinite Orbits**

Fornisce servizi di estensione della vita e della missione per i satelliti GEO. Utilizza un servicer satellitare dedicato con sensori ottici per sistemi di guida, navigazione, controllo e docking. Questi sistemi consentono alla startup di aggiornare i satelliti GEO esistenti con nuove tecnologie e di estendere la vita utile fino a 5 anni. Inoltre, la startup fornisce servizi di SSA, di prevenzione autonoma delle collisioni, di ispezione e di ricollocazione dei satelliti in orbite più adatte e in orbite cimiteriali.



- **Space Machines Company**

Startup australiana che offre l'assemblaggio in orbita di grandi strutture spaziali. La piattaforma di mobilità spaziale della startup, *Optimus*, utilizza un'architettura modulare riutilizzabile e tecnologie di propulsione a bordo. Trasporta carichi e parti di strutture spaziali (sia in LEO che in GEO) richieste con il suo veicolo di trasferimento orbitale riutilizzabile. Queste parti vengono poi assemblate nello spazio per costruire infrastrutture o apparecchiature complesse. In questo modo, la startup supporta una serie di altri servizi IOS, quali il fornimento di carburante e le riparazioni dei satelliti.

- **Scout Aerospace**

La startup statunitense Scout Aerospace costruisce veicoli di trasferimento orbitale per il posizionamento di carichi utili in orbita e per la manutenzione di risorse orbitali esistenti. I veicoli di trasferimento orbitale della startup installano i carichi utili nelle orbite scelte dai proprietari. La sua piattaforma AstroLab fornisce energia, trasmissione dati e capacità di tracciamento per tutti i carichi utili che condividono questo cantiere come un grande satellite. Inoltre, facilita la riparazione o l'aggiornamento di un carico utile specifico.

- **Orbital Express**

La startup russa Orbital Express costruisce rimorchiatori spaziali per il posizionamento orbitale di piccoli satelliti, la manutenzione e le missioni interplanetarie. La soluzione della startup, Satko, sposta CubeSats e SmallSats per l'inserimento in orbita di pianeti e asteroidi, il cambio d'orbita e la consegna di carichi utili ad altri veicoli spaziali. Consegna carichi utili fino a 100 kg in orbita LEO e 30kg in orbita GEO. È anche una piattaforma portante per il posizionamento permanente del carico utile in orbita, fungendo così da veicolo spaziale indipendente.



3.3. Active Debris Removal

Il cambio di paradigma sta portando a una rapida congestione dell'ambiente spaziale. Nubi di detriti spaziali continuano a orbitare insieme a satelliti funzionanti. Ciò comporta la nascita di un problema oggettivo destinato ad aggravarsi già nel prossimo futuro e che ha suscitato la consapevolezza che esista una sostenibilità spaziale da preservare per rendere lo spazio pienamente sfruttabile anche in futuro. Una situazione questa potenzialmente pericolosa rispetto alla quale si ha ancora carenza di regole e normative.

Le misure di bonifica e mitigazione dei rischi attuali possono essere suddivise in tre categorie:

- *Debris limitation measures* (Misure e regolamentazioni per mitigare il numero di detriti)
- *Space situational awareness*, che consiste nella sorveglianza e tracciamento di oggetti spaziali al fine di prevenire collisioni (gestione del traffico...)
- *Active Debris Removal*

Di particolare interesse risulta essere l'ADR, in quanto la limitazione dei detriti non è sufficiente a stabilizzare l'ambiente orbitale: si renderà necessaria in futuro la loro rimozione.

I costi relativi a ritardi e perdite di dati sono la conseguenza più diretta di una collisione con un detrito spaziale. Tuttavia, ci sono anche molti altri costi da tenere in considerazione, in fase di progettazione del veicolo spaziale (*National Research Council, 2011*):

- Costi in caso di collisione: che si tratti di orbita LEO o GEO, i costi di sostituzione del veicolo spaziale e i relativi ritardi e la perdita di dati sono la conseguenza più diretta di una collisione fatale con un detrito spaziale.



- Costi legati alla prevenzione: tra questi rientrano i costi relativi alle misure per evitare o ridurre l'impatto (schermatura, manovre per evitare i detriti), nonché le misure di mitigazione dei detriti (sgombero dell'orbita, sfiato del carburante residuo). Si hanno costi di combustibile utilizzato per cambiare traiettoria. Di media, ogni missione dell'ESA compie due manovre di cosiddetta *Collision Avoidance*.
- Costi legati al monitoraggio dei cieli, al calcolo del rischio di collisione e per la pianificazione e simulazione di manovre., non vengono inoltre raccolti dati utili e normalmente analizzati nell'operatività del satellite in questione.

Le sole ultime due voci di costo (monitoraggio dei detriti in orbita, unitamente alle politiche di gestione delle collisioni) sommano, per un singolo satellite GEO, per il 5-10% del costo dell'intera missione e i costi sono addirittura superiori in casi di satelliti LEO [62].

Per quanto concerne l'ambito assicurativo, uno studio condotto da *Swiss Re Corporate Solutions* ha stimato che un satellite a banda larga di 200 kg in una costellazione di 1.000 satelliti che vola in un'orbita a 1.200 km di altitudine avrebbe un rischio dell'11% di collidere con un oggetto di 1-10 cm, rischio che aumenterebbe al 90% nei prossimi 20 anni [63]. Anche se ad oggi i detriti spaziali non sono ancora considerati un pericolo abbastanza significativo da incidere sui premi assicurativi, né in LEO né in GEO, in futuro la situazione è destinata a cambiare a meno che non vengano prese delle misure di contenimento e di tutela.

3.3.1. Suddivisione per Orbita

In tabella 7, di derivazione dall'*Annual Space Environment report* del 2019 dell'ESA, si identificano il numero di detriti suddivisi nelle varie orbite.



Tabella 7- Tipo e orbita di collocazione degli oggetti spaziali tracciati (fonte: ESA)

January 2019, number of objects and their mass (in metric tons)

Selected orbits	Fragmentation debris	Mission-related debris	Rocket bodies	Payloads	Total (including other object types)
LEO	8 681 (1.5 tons)	769 (7.5 tons)	855 (1 271.7 tons)	2 943 (1 406.5 tons)	13 485 (2 688.5 tons)
GEO	3 (0.2 tons)	44 (1 tons)	65 (133.8 tons)	742 (646.3 tons)	842 (2 429.6 tons)
Total (including objects in other orbits)	10 525 (1.7 tons)	1 224 (136.3 tons)	1 884 (3 258.7 tons)	4 708 (5 096.1 tons)	22 014 (8 493.8 tons)

Note: Catalogued items come from the ESA DISCOS Database, with number of items slightly higher than those recorded by Space-track.org. Source: Adapted from ESA (2019_[5]), *Annual Space Environment Report: 2019*.

22.000 era il numero di oggetti tracciati a inizio 2019 nei database dell'ESA, numero questo che ha subito un inevitabile incremento nell'arco degli ultimi 3 anni portando il totale a 30.000 come riportato sullo stesso report dell'ESA, ma aggiornato al 2022 [64]. Nel corso degli anni sono stati portati in orbita 7.840 satelliti, dei quali circa 5.000 sono ancora funzionanti. Ciò vuol dire che ad oggi oltre 2.800 sono abbandonati e non utilizzati e continuano ad orbitare intorno alla terra (tabella 8, Frost & Sullivan, 2022).

Tabella 8- Dati sui satelliti in orbita

Space Debris Removal: Space Debris Data, Global, 2022^[65]

Number of Rocket Launches (excluding failures) from 1957	Number of Satellites Placed in Earth's Orbit	Number of Functioning Satellites
6,170	7,840	5,000

3.3.2. Drivers e vincoli crescita del mercato

Frost & Sullivan fornisce anche per questo caso i fattori che fungeranno da *boost* per il mercato dell'ADR e in contrapposizione i fattori che ne vincoleranno la crescita (Figure 35 e 36) [65].



Restraint	1–2 Years	3–4 Years	5–10 Years
High cost of de-orbiting a spacecraft	High	High	Medium
Delay in the evolution and enforcement of regulatory framework specifically focused on space debris mitigation and removal	High	High	Medium
Lack of prioritization of space sustainability by space industry participants	High	High	Medium
Time and resource-intensive nature of developing and validating space debris removing capabilities	High	Medium	Medium
Low investments in the space debris removal technology	High	Medium	Medium

Source: Frost & Sullivan

Figura 35- Fattori di crescita mercato ADR, anni 2021-2030

Driver	1–2 Years	3–4 Years	5–10 Years
Increased government and commercial space activity	Medium	High	High
An increasing number of satellites being launched each year due to current trend of mega-constellation of satellites	Medium	High	High
Multiple commercial players entering the space business as a result of the rapidly increasing NewSpace market	Medium	Medium	High
Increasing awareness of the importance of space sustainability and space debris mitigation	Low	Medium	High
Increasing adoption of space capabilities across non-space markets	Low	Medium	Medium

Source: Frost & Sullivan

Figura 36- Vincoli alla crescita mercato ADR, anni 2021-2030



3.3.3. Trend Futuro

Dai dati contenuti in un report dell'ESA risalente al 2021 (figura 37) si deduce come il trend di accumulo dei detriti sia in rapida crescita. Da notare che in tale grafico si è tenuto conto dei soli oggetti spaziali regolarmente monitorati e catalogati dalle reti di sorveglianza spaziale al fine di evitare collisioni.

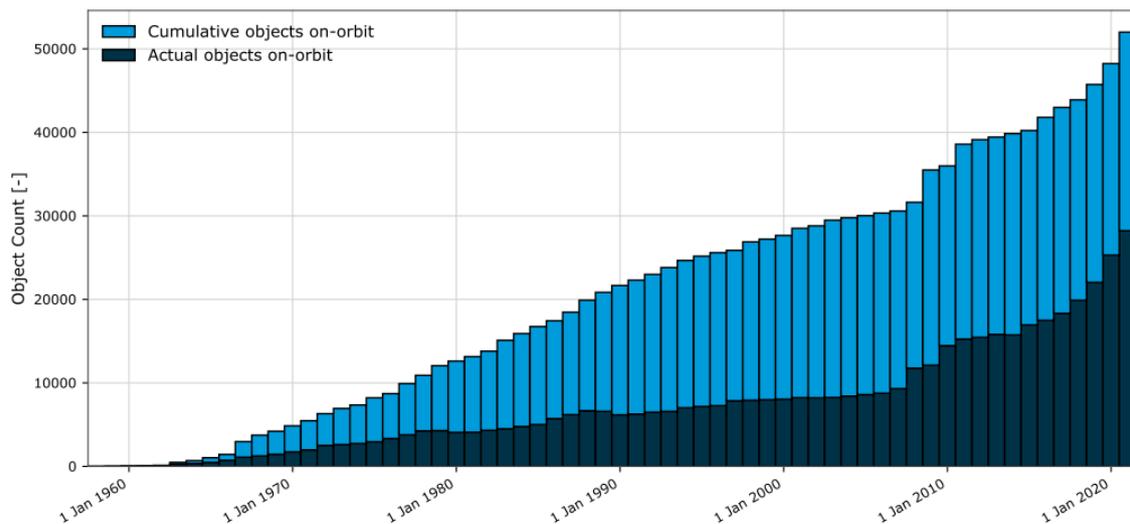


Figura 37- Andamento del numero di detriti in orbita dagli anni '60 al 2020 (Fonte: ESA)

Tuttavia, non tutti gli oggetti inerti in orbita sono tracciati e catalogati. Modelli statistici del 2022 riportano dati più allarmanti contenuti nel report *“Annual space environment report”* dell'ESA [64]:

- 36.500 oggetti detritici superiori ai 10cm: in questo conteggio rientrano oltre 7.000 satelliti portati in orbita terrestre nel corso degli anni, dei quali ne risultano essere potenzialmente funzionanti circa 5.000.
- Oltre 1 milione quelli di dimensioni comprese tra 1 e 10cm
- 130 milioni compresi in un range tra 1mm e 1cm



Il mercato dell'ADR è stimato crescere significativamente già nei prossimi 5 anni (entro il 2027), raggiungendo un valore medio di 350 milioni di dollari. Per quanto riguarda la velocità di crescita entro il 2030, è previsto un CAGR del 27,7% stando alle informazioni riportate sul report *"Active Space Debris Removal Market"* [66]. Tale crescita interesserà principalmente la regione del Nord America (USA e Canada) che raggiungerà una quota di mercato del 61,5% [67].

Partendo da questi dati, si può calcolare un potenziale di mercato, in caso di *best case*, raggiungibile nel 2030. Dati iniziali:

- Valore Mercato al 2027: 500M (da report Sullivan, in caso ottimistico)
- CAGR: 27,7%
- Numero anni: 3

Valore Mercato 2030 = $500M * (1 + 0,277)^3 = 1.041B$

Si ottiene una **previsione di mercato entro il 2030 di oltre 1 miliardo di dollari.**

3.3.4. Panorama Competitivo

Sono riportati nel riquadro a destra i principali attori operanti, o che prevedono di entrare, nel mercato dei servizi ADR (Fonte Frost & Sullivan).

Tra i principali competitors si trovano:

- **Astroscale**
Nata essenzialmente per fare da *"space sweeper"*, attualmente sta sviluppando un satellite commerciale di rimozione attiva dei detriti in grado di rimuovere un gran numero di oggetti spaziali utilizzando la tecnologia di cattura magnetica con propulsione sia elettrica che chimica.

Key Market Participants in the Space Debris Removal Market

- Astroscale
- Clear Space
- Northrop Grumman
- OrbitGuardians
- Launchspace Technologies Corporation
- Voyager Space
- Turion Space
- Starfish Space

Licensed to User ID: 56876
ISP - Subattore di Imprese Innovative del
di Torino
Unauthorized Distribution Prohibited



- **Launchspace Technologies Corporation.**

La loro tecnologia consiste in due costellazioni di satelliti orbitali: una utilizza sensori al fine di offrire un monitoraggio costante e preciso della collocazione dei detriti nello spazio. Tali informazioni vengono analizzate e utilizzate per dirigere la seconda costellazione di veicoli spaziali verso la rimozione dei detriti orbitali che sono raccolti in modo passivo.

- **OrbitGuardians**

Sta sviluppando un servizio di rimozione dei detriti spaziali per rimuovere le gocce di refrigerante Nak (lega di sodio-potassio) utilizzando operazioni di trasferimento della quantità di moto e tecnologie di rimozione attiva dei detriti.

- **Starfish Space**

La soluzione per la rimozione dei detriti spaziali è costituita da meccanismi autonomi di cattura e traino nello spazio.

- **Clearspace**

Spin-off dell'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne). L'ESA ha annunciato un contratto di 86 milioni di euro con l'obiettivo di portare a compimento la prima missione di rimozione attiva di un detrito spaziale, denominata ClearSpace-1. Proprio con questo scopo è infatti nata la stessa startup: rimuovere i detriti spaziali.

- **Turion Space e Northrop Grumman**

Stanno sviluppando sistemi di pulizia dei detriti spaziali basati su bracci robotici.



3.4. Accoppiamento Tra Veicoli Spaziali

Quasi tutte le operazioni di IOS comportano precise manovre in orbita, che possano permettere di instaurare un collegamento fisico con il bersaglio. Nello specifico, il docking risulta essere necessario ogniqualvolta si voglia:

- Estendere la vita del veicolo spaziale tramite il rifornimento di propellente
- Sostituire componenti obsoleti o guasti
- Spostare un veicolo spaziale in un'orbita differente
- Recuperare e/o assistere un veicolo spaziale nel caso di dispiegamento fallito
- Esaminare un veicolo per determinarne la causa del guasto

Anche se è già stata effettuata molte volte, la manovra di aggancio tra due oggetti nello spazio è ancora oggi una procedura delicata e potenzialmente pericolosa. La velocità è estremamente elevata (circa 28.000 km/h nel caso della ISS) e le correzioni sono difficili [68]. Ci sono piccoli meccanismi sull'anello di aggancio che possono correggere piccoli errori, ma se l'allineamento non è quasi perfetto, i meccanismi sul punto di contatto rischiano di danneggiarsi in maniera irreversibile. Non esiste neanche la possibilità di frenare o accelerare e quindi di effettuare manovre correttive: entrambi i veicoli devono inibire completamente i loro propulsori prima di raggiungere il punto di contatto per garantire che nessuno dei due inavvertitamente accenda un propulsore e imprima una coppia che può danneggiare il meccanismo di aggancio [69].

L'operazione di aggancio si compone di due fasi: una "*soft*" e una "*hard*". Un veicolo spaziale avvia prima un *soft dock* facendo contatto e agganciando il suo connettore a quello del veicolo di destinazione. Una volta che la connessione questa è assicurata, se entrambi i veicoli sono pressurizzati, possono procedere al *hard dock* dove i meccanismi di attracco formano una chiusura ermetica, consentendo l'apertura sicura dei portelli interni in modo che l'equipaggio e il carico possano essere trasferiti.



Esistono attualmente due alternative [70] per instaurare un collegamento fisico tra due oggetti nello spazio:

- Si parla di attracco (**docking**), figura 39, nel caso in cui l'unione avvenga in modo diretto tra due veicoli in volo libero. Questa tipologia di aggancio viene utilizzata solitamente per le operazioni che coinvolgono moduli con un equipaggio a bordo.



Figura 39- Docking

- L'ormeggio (**berthing**), figura 40, fa riferimento alle operazioni di attracco che interessano generalmente veicoli cargo, privi di equipaggio. Il collegamento si instaura in due fasi: il primo veicolo si accosta all'altro e, mediante l'utilizzo di un braccio robotico, afferra quest'ultimo. A questo punto lo può ruotare al fine di allinearlo in modo corretto con l'interfaccia di accoppiamento e collegarsi. Poiché il moderno processo di disormeggio richiede più lavoro dell'equipaggio e richiede molto tempo, le operazioni di ormeggio non sono adatte per l'evacuazione rapida dell'equipaggio in caso di emergenza.



Figura 40- Berthing

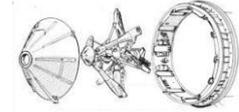
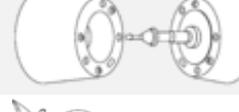
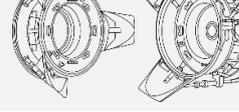
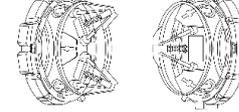
I sistemi di attracco/ormeggio possono essere **androgynous** (non di genere) o **non-androgynous** (di genere), indicando quali parti del sistema possono accoppiarsi [70].

I primi sistemi per i veicoli spaziali congiunti erano tutti dotati di sistemi **docking non-androgynous**. Essi sono una forma di accoppiamento di genere dove ogni veicolo da unire ha un design unico (maschio o femmina) e un ruolo specifico da svolgere nel processo di attracco. Tali ruoli non possono essere invertiti e due moduli dello stesso sesso non possono essere uniti.

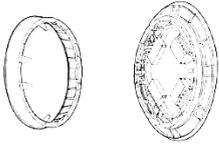
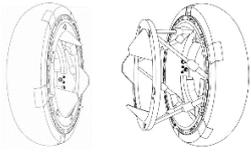
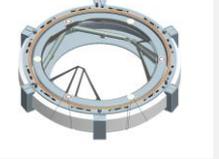


Il *docking androgynous* (e successivamente il *berthing androgynous*) ha invece un'interfaccia identica su entrambi i veicoli spaziali. In un'interfaccia di questo tipo, c'è un unico design che può connettersi a un duplicato di sé stesso. Ciò consente l'inversione dei ruoli, rendendo la progettazione della missione più flessibile e riducendone i tempi di analisi.

3.4.1. Elenco dei meccanismi attuali

IMMAGINE	NOME	METODO	GENERE	TRASFERIMENTO EQUIPAGGIO
	Meccanismo Gemini	Attracco	Non-Androgynous	No
	Meccanismo Apollo	Attracco	Non-Androgynous	Si
	Meccanismo Drogue (SSVP-G4000)	Attracco	Non-Androgynous	No
	Meccanismo Kontakt	Attracco	Non-Androgynous	No
	APAS-75 (Androgynous Peripheral Attach System)	Attracco	Adrogynous	Si
	APAS-89	Attracco	Androgynous / Non-Androgynous	Si
	Meccanismo Ibribo (SSVP-M8000)	Attracco	Non-Adrogynous	Si



	Meccanismo di ormeggio comune	di	Ormeggio	Non_Androgynous	Si
	Meccanismo di attracco cinese	di	Attracco	Androgynous / Non-Androgynous	Si
	NDS (NASA Docking System)	Docking	Attracco / Ormeggio	Androgynous / Non-Androgynous	Si
	IBDM (International Berthing and Docking Mechanism)		Attracco / Ormeggio	Androgynous	Si

3.4.2. Aggancio non-cooperativo

A volte le missioni di IOS in cui il fornitore di servizi è impiegato, coinvolgono operazioni di aggancio con un veicolo spaziale (o un qualsiasi altro oggetto in orbita) che non dispone di un'interfaccia per l'accoppiamento: non tutti i progetti contengono meccanismi compatibili tali da consentire operazioni di rendez-vous sicure e precise. La riparazione, il *de-orbiting* e in generale le operazioni che richiedono l'instaurazione di un collegamento fisico tra satelliti privi di questi meccanismi, comportano manovre complesse, mantenendo una forte dipendenza dai bracci robotici dei satelliti.

Discorso analogo vale anche per l'ADR di detriti di altre entità, generati ad esempio a seguito di una collisione, e quindi per quei rottami che si trovano in orbita: i bersagli saranno oggetti di forma irregolare, di qualsiasi dimensione, incompatibili con qualsiasi meccanismo di aggancio per poter essere raccolti.



Ad oggi l'industria dei satelliti non ha ancora raggiunto una maturità tecnologica che consenta di avere un dispositivo di attracco universale, che permetta ai produttori di progettare satelliti per servizi IOS, di *De-Orbiting* e ADR di qualsiasi genere. Sarebbe di grande aiuto per il mercato un braccio robotico per la riparazione e l'aggancio dei detriti sufficientemente versatile per adattarsi ai diversi vincoli della missione e consentire una presa salda e precisa, indipendentemente dalle compatibilità con i bersagli.



4. TECHNOLOGY INTELLIGENCE

Nel capitolo 4 sarà effettuato un *patent landscaping* con lo scopo di approfondire lo stato dell'arte, ricercare soluzioni simili e potenzialmente concorrenti per la tecnologia in esame.

È importante sottolineare il fatto che il principio fisico alla base della tecnologia è noto ed è già stato utilizzato: sistemi elettro-adesivi sono già stati coperti da proprietà intellettuale in passato. Risulta pertanto importante identificare la presenza di eventuali brevetti simili a quello depositabile da AdapTronics.

4.1. Ipotesi di partenza e modello operativo

AdapTronics propone una membrana leggera e sottile, che consente il grip quando attivata elettricamente. Tale membrana può essere potenzialmente “indossata” da bracci robotici rendendo l'interfaccia su cui è applicata in grado di agganciare e manipolare oggetti anche in ambienti ostili quali lo spazio [cfr. capitolo 2].

Sarà inizialmente effettuata un approfondimento delle tecnologie simili a livello generale, per qualsiasi tipo di applicazione. Input della ricerca sono stati 4 brevetti forniti dai tecnici della start-up riguardanti tecnologie di elettro-adesione già note allo stato dell'arte. Gli IPC-code ricavati dall'analisi di questi sono i seguenti:

- **B25J** (MANIPULATORS; CHAMBERS PROVIDED WITH MANIPULATION DEVICES)
 - **15/12** (Gripping heads / with flexible finger members)
- **H01L** (SEMICONDUCTOR DEVICES; ELECTRIC SOLID-STATE DEVICES)
 - **21** (Processes or apparatus specially adapted for the manufacture or treatment of semiconductor or solid-state devices or of parts thereof)



- **68** (for positioning, orientation, or alignment)
- **683** (for supporting or gripping)
- **H02N** (ELECTRIC MACHINES NOT OTHERWISE PROVIDED FOR)
 - **13/00** (Clutches or holding devices using electrostatic attraction, e.g. using Johnson-Rahbek effect)

Particolare attenzione sarà successivamente rivolta all'ambito *aerospace* e alle applicazioni che tecnologie per il *gripping* e *docking* ricoprono in tale settore, in quanto risulta essere anche scopo di questo elaborato fornire la fattibilità e i margini di penetrazione nel mercato per un possibile futuro business.

In generale, si ipotizza che AdapTronics possa facilitare le operazioni di aggancio in orbita, offrendo un prodotto di interesse per aziende che effettuato assemblaggio, trasporto, manutenzione e rimozione di detriti in orbita. Gli IPC-code di interesse risultano pertanto essere:

- **B64G** (COSMONAUTICS; VEHICLES OR EQUIPMENT THEREFOR)
 - **1/64** (Cosmonautic vehicles / Systems for coupling or separating cosmonautic vehicles or parts thereof)

Saranno generate delle query di ricerca sul software "Derwent Innovation" seguendo una logica ben precisa: in un primo momento si analizzeranno le tecnologie simili in un contesto applicativo generale (B25J, H01L e H02N) e a questi risultati verrà affiancato un output speculare ma in ambito *space* (B64J). A valle di queste due operazioni, sarà effettuata una join tra questi IPC-code in modo da ottenere un risultato puntuale delle tecnologie di aggancio in orbita che sfruttano l'elettro-adesione. Infine, si genereranno **due database** su Excel che conterranno rispettivamente: i dati dei brevetti di particolare rilevanza per un'analisi di anteriorità al fine di poter presentare una proposta brevettuale e un secondo contenente le tecnologie presenti sul mercato del



docking in orbita in modo da identificare i players di mercato che cercano di offrire soluzioni alternative o complementari a quella di AdapTronics.

Obiettivi analisi:

Specific technological domain

Innovation trends

Key innovators

Pool competing firms

4.2. Patent Landscape – Earth and general applications

In questa prima parte la ricerca terrà conto di tutte le possibili tecnologie esistenti senza distinguere quali di queste siano applicate sulla Terra piuttosto che nello Spazio. Le parole chiave a supporto della ricerca sono state individuate e integrate durante dei *brainstorming* con i tecnici della start-up. Si riporta, a destra, come sono state abbreviate ed inserite nelle query con simboli *jolly* al fine di poter ricoprire il più ampio spettro di ricerca: in questo modo si è potuto tenere conto anche di parole composte o simili (es. printed electronics, electroadhesion...)

Key Words di riferimento

Electroadhesive → electro* → electroadhes*

Gripping, docking, capturing, grabbing → grip*, dock*, captur*, grab*

Printed, printing → print*

Aerosol, Aerojet, roll to roll, screen printing



4.2.1. Query 1

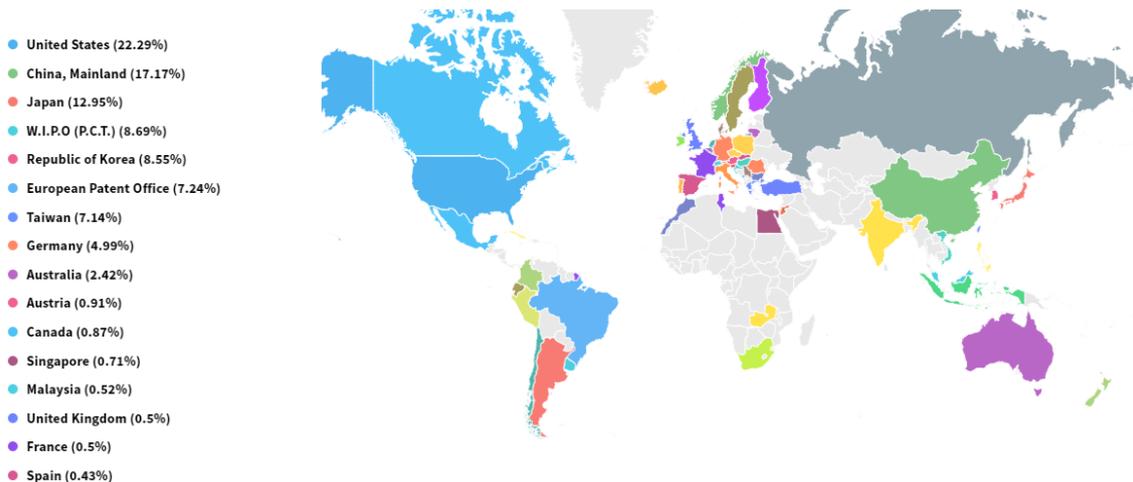
L'obiettivo è avere una visualizzazione del principale contesto brevettuale legato ai sistemi di presa e manipolazione (IPC B25J15), ai device elettrici per il posizionamento e allineamento (H01L68) e in generale a sistemi di presa che possono avere un qualche tipo di collegamento con l'elettronica.

Query 1:

IC = ((B25J001508 OR B25J001510 OR B25J001512) OR (H01L002168 OR H01L0021683 OR H01L0021687) OR (H02N0013)) AND CTB = ((grip* or dock* or captur* or grab*) and electro*);

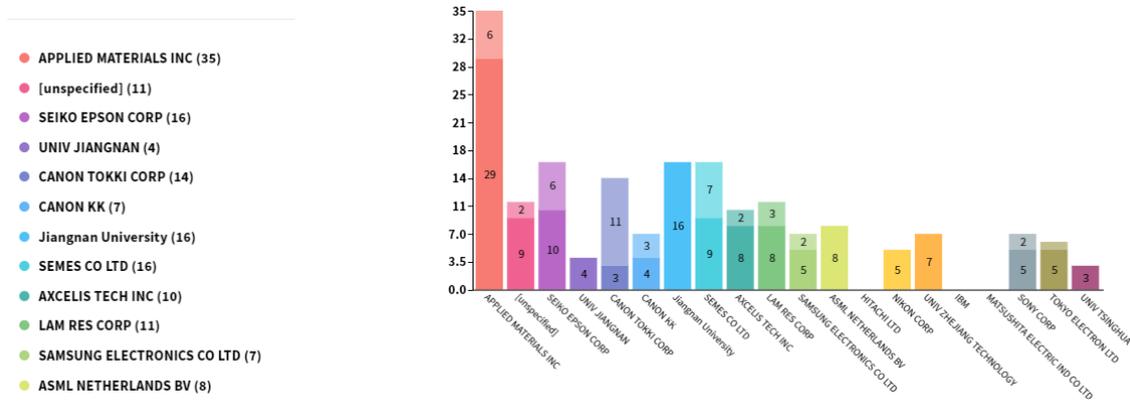
OUTPUT: 2.856 patents published and 2.160 patents granted.

Attualmente, a livello mondiale, il 60% dei depositi di tali brevetti sono stati concessi. Il restante 40% dei risultati rappresenta le *applications* in fase di valutazione. Si desume da quest'ultimo dato che il mercato sia crescita, essendo il numero di domande di brevetto in stato di *pending* elevato rispetto al totale. Nella mappa seguente è riportata la collocazione geografica dei brevetti concessi in termini percentuali.



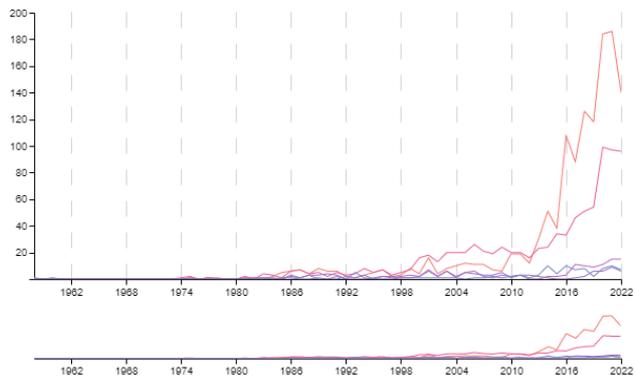


I principali players sono riportati nel grafico successivo, identificando nel grafico a barre rispettivamente (partendo dall'alto) il numero di *applications* in attesa e il numero di brevetti concessi in basso.



La maggior parte di tali brevetti sono depositati allo scopo di essere utilizzati per applicazioni su bracci robotici, manipolatori e *gripper*, come era prevedibile stante le parole chiave utilizzate per la ricerca.

- Legend
- ROBOT, MANIPULATOR, END EFFECTOR, GRIPPER
 - SEMICONDUCTOR, LAYER, SUBSTRATE, OLED, GATE, SOURCE DRAIN, LIGHT EMITTING
 - CONVEYOR, STORAGE AND RETRIEVAL, PICKING, BELT, TRANSPORT, WAREHOUSE, CONVEYANCE
 - PRINTED CIRCUIT BOARD, HEAT DISSIPATION, CONDUCTIVE, PCB, MULTILAYER, LAYER, SHIELDING
 - VIBRATION WAVE MOTOR, PIEZOELECTRIC, THERMOELECTRIC CONVERSION, ELECTROSTATIC CHUCK, TRIBOELECTRIC, ENERGY HARVESTING, POWER GENERATION





4.2.2. Query 2

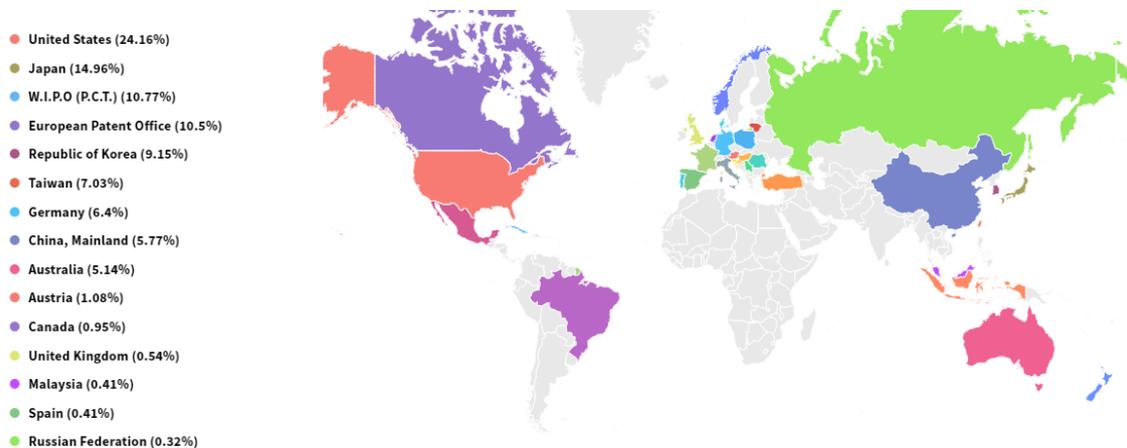
Si vuole adesso restringere il campo di ricerca alle tecnologie che coinvolgono anche la stampa: si procede con la query seguente, includendo la *key word* "print*".

Query 2:

IC = ((B25J001508 OR B25J001510 OR B25J001512) OR (H01L002168 OR H01L0021683 OR H01L0021687) OR (H02N0013)) AND CTB = ((grip* or dock* or captur* or grab*) and electro* and print*);

OUTPUT: 167 patents published and 111 patents granted.

Il totale è abbassato di un ordine di grandezza, con un totale di 111 brevetti concessi. Anche in questo caso gran parte dei brevetti (37%) sono depositati in attesa di pubblicazione, indice del fatto che l'innovazione in tale ambito è in crescita. Come desumibile dalla mappa in basso, le regioni trainanti dell'innovazione sono USA, Giappone e EU seguite dalla Corea.

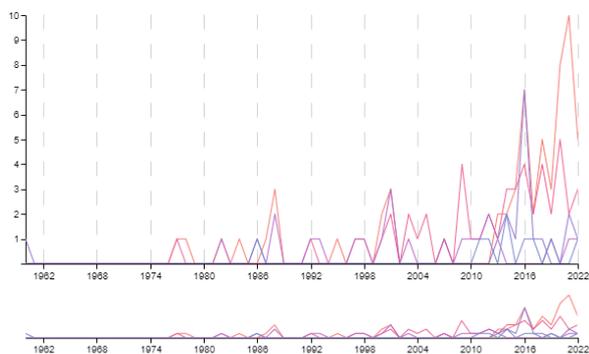


Il trend tecnologico continua a mostrare un interesse per le applicazioni robotiche, di manipolazione e *gripping*.



Legend

- ROBOT, MANIPULATOR, END EFFECTOR, GRIPPER
- SEMICONDUCTOR, LAYER, SUBSTRATE, OLED, GATE, SOURCE DRAIN, LIGHT EMITTING
- PRINTED CIRCUIT BOARD, HEAT DISSIPATION, CONDUCTIVE, PCB, MULTILAYER, LAYER, SHIELDING
- VIBRATION WAVE MOTOR, PIEZOELECTRIC, THERMOELECTRIC CONVERSION, ELECTROSTATIC CHUCK, TRIBOELECTRIC, ENERGY HARVESTING, POWER GENERATION
- PRINT, INKJET, INK, LIQUID EJECTION HEAD, JET, PRINTHEAD, DROPLET



4.2.3. Query 3

Si vuole infine ricercare nel dettaglio quali di queste tecnologie utilizza il principio fisico dell'elettro-adesione, si sostituisce a tal fine "electro*" con "electroadhes*".

Query 3:

IC = ((B25J001508 OR B25J001510 OR B25J001512) OR (H01L002168 OR H01L0021683 OR H01L0021687) OR (H02N0013)) AND CTB = ((grip* or dock* or captur* or grab*) and electroadhes* and print*);

I brevetti rimanenti risultano essere 5, riportati in tabella 9.

Tabella 9- Elenco brevetti risultanti da query 3

PUBLICATION NUMBER	ASSIGNEE	TITLE	PUBLICATION YEAR
GB2552450A	Textron inc	Electroadhesive gripper	2018
US11077565B2	Soft Robotics inc.	Soft robotic actuator attachment hub and grasper assembly, reinforced actuators, and electroadhesive actuators	2021
US10792807B2	Harvard College	Flexible and stretchable electronic strain-limited layer for soft actuators	2018
US20160318190A1	Grabit inc	Modular electroadhesive gripping system	2016
EP3443659B1	Trumpf	Electro-adhesion gripper comprising fractal electrodes	2020



4.3. Database Generale (docking & electroadhesion)

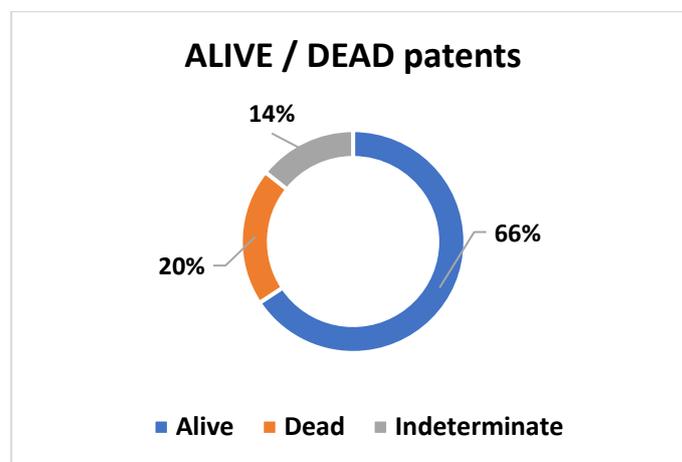
Si intende generare un DB contenente questi ultimi brevetti estratti, integrati con quelli trovati tramite varie ricerche su Derwent Innovation sfruttando gli IPC-Code riportati con maggior frequenza sui brevetti dell'analisi precedente. Tale DB vuole offrire una panoramica dei brevetti molto vicini a quello che intende depositare AdapTronics, o che possono in qualche modo interferire con la richiesta di brevetto. Gli IPC-Code identificati nel corso del lavoro di capitolo 4.2 sono i seguenti:

- **B29C** (HAPING OR JOINING OF PLASTICS; SHAPING OF MATERIAL IN A PLASTIC STATE, NOT OTHERWISE PROVIDED FOR; AFTER-TREATMENT OF THE SHAPED PRODUCTS)
 - **39** (Shaping by casting, i.e. introducing the moulding material into a mould or between confining surfaces without significant moulding pressure)
- **B32B** (LAYERED PRODUCTS, PRODUCTS BUILT-UP OF STRATA OF FLAT OR NON-FLAT)
 - **37** (Methods or apparatus for laminating)
- **C09J** (ADHESIVES; NON-MECHANICAL ASPECTS OF ADHESIVE PROCESSES IN GENERAL; ADHESIVE PROCESSES NOT PROVIDED FOR ELSEWHERE; USE OF MATERIALS AS ADHESIVES)
 - **5** (Adhesive processes in general; Adhesive processes not provided for elsewhere)
 - **9** (Adhesives characterised by their physical nature or the effects produced)
- **F16B** (DEVICES FOR FASTENING OR SECURING CONSTRUCTIONAL ELEMENTS OR MACHINE PARTS TOGETHER)

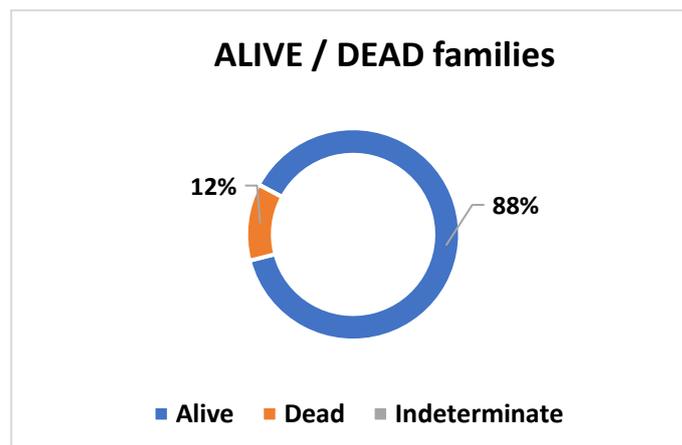


- **5** (Joining sheets or plates to one another or to strips or bars parallel to them)
- **47** (Suction cups for attaching purposes; Equivalent means using adhesives)

Il DB risultante conta **35 brevetti**, così suddivisi:

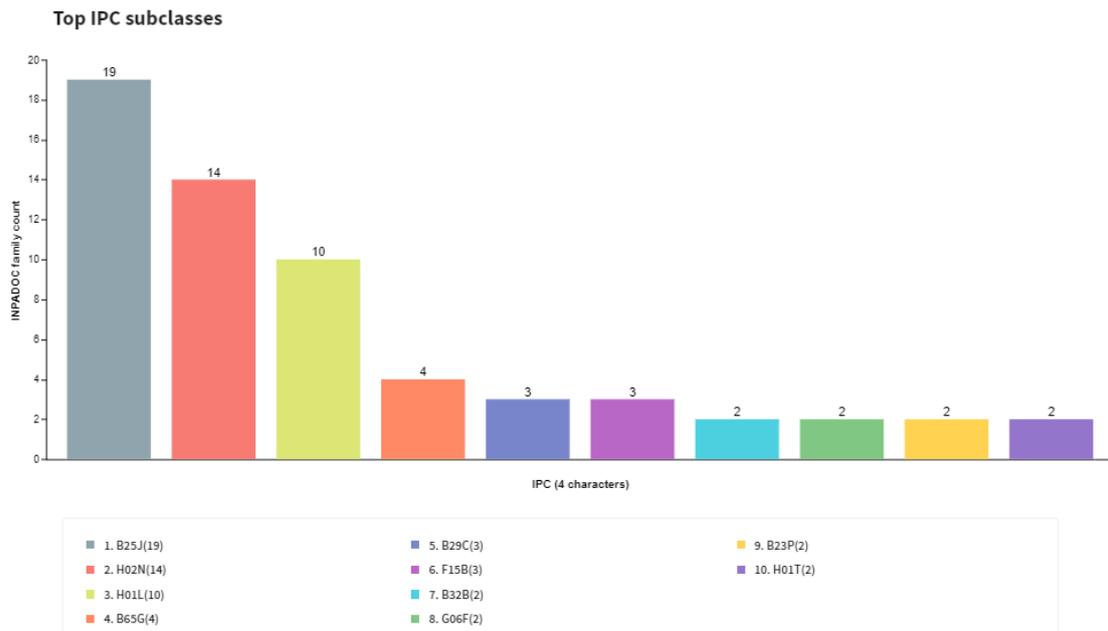


Tuttavia, osservando le relative INPADOC-families, il numero di esse ancora “attive” sale all’88%.



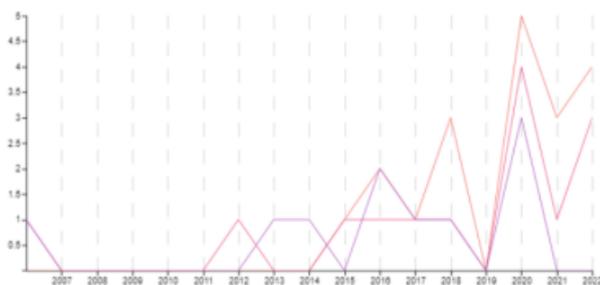


Gli IPC-Code utilizzati sono riportati nel grafico seguente, che evidenzia il numero di volte che ognuno è stato utilizzato. Il B25J come prevedibile si trova nella metà dei brevetti presenti nel DB, in quanto si riferisce ai sistemi di handling e manipulation sugli *end effectors*. A questo fanno seguito H02N e H01L, già precedentemente analizzati. Ogni brevetto del pool di analisi possiede almeno uno tra questi 3 IPC-Code.



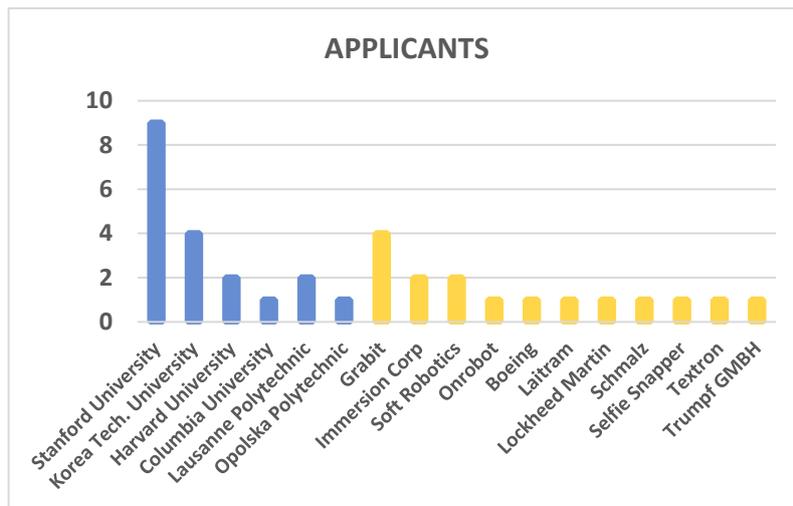
A seguito delle evidenze di cui sopra, è facile capire il motivo per cui il trend applicativo di queste tecnologie ricopra il panorama della robotica e dei gripper: l'83% delle applicazioni vertono su tali prodotti

- Legend**
- ROBOT, MANIPULATOR, END EFFECTOR, GRIPPER
 - VIBRATION WAVE MOTOR, PIEZOELECTRIC, THERMOELECTRIC CONVERSION, ELECTROSTATIC CHUCK, TRIBOELECTRIC, ENERGY HARVESTING, POWER GENERATION
 - SEMICONDUCTOR, LAYER, SUBSTRATE, OLED, GATE, SOURCE DRAIN, LIGHT EMITTING

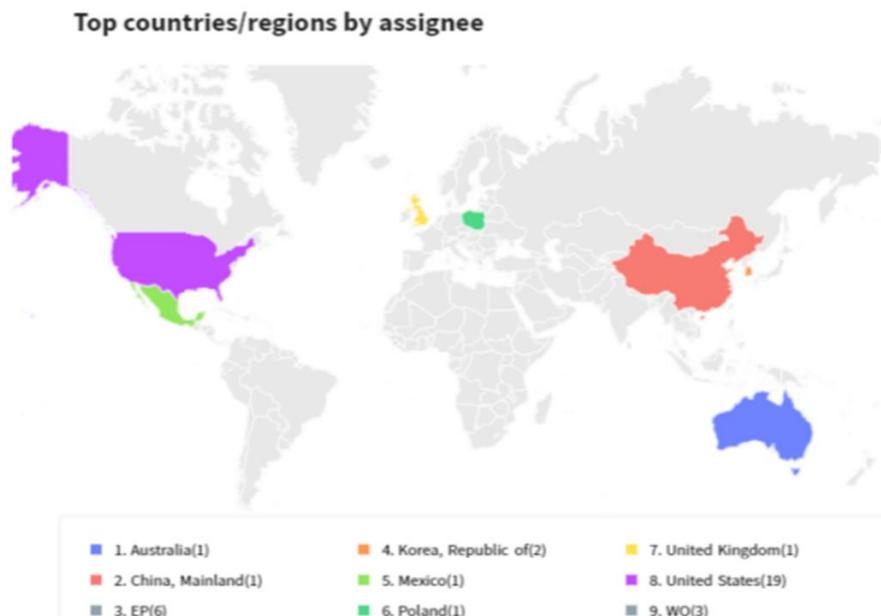




Le università (in blu nel grafico seguente), prime tra tutte la Stanford e in generale quelle americane, sembrano avere un interesse nella ricerca e sviluppo di tecnologie che sfruttino l'elettro-adesione come sistema di grip. In giallo si trovano invece i *players* non istituzionali e che costituiscono quindi *competitors* diretti. Il focus sul *core business* di tali società sarà analizzato nel seguito di questo capitolo.

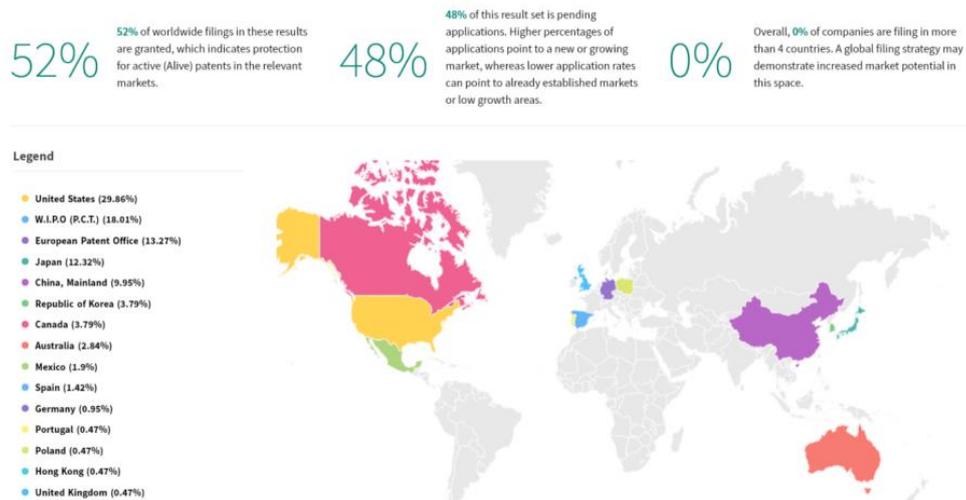


La maggior parte dei detentori di tali brevetti risiede negli USA e nell'UE, con rispettivamente 19 e 6 brevetti depositati come desumibile dalla mappa di cui sotto.

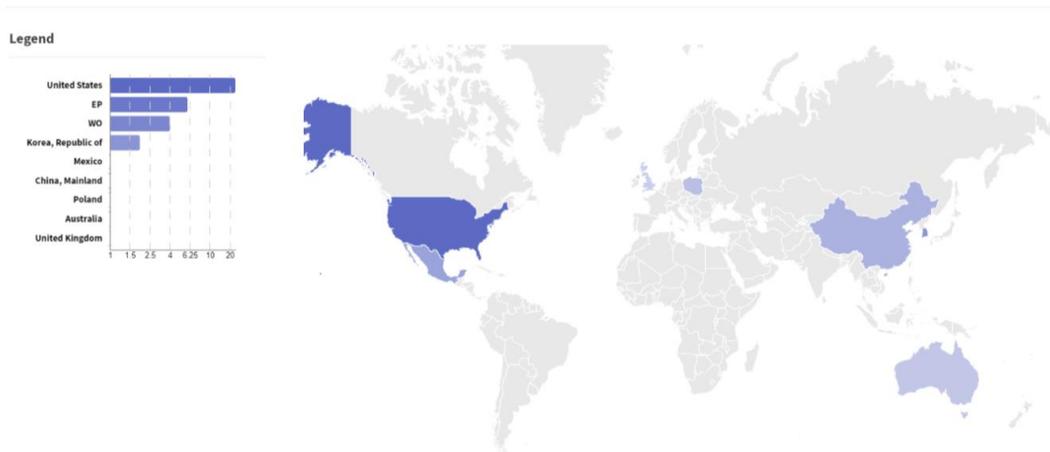




Il 18% dei brevetti nel DB in esame offrono protezione in tutto il mondo (WIPO in figura), il 13% nell'UE e il 30% negli USA. Seguono le regioni asiatiche con Giappone, Cina e Korea. Anche in questo caso, i mercati in via di sviluppo risultano essere in Europa, USA ed est asiatico. In questo contesto il 52% dei brevetti è stato concesso, mentre il 48% è depositato, questo conferma l'ipotesi che il mercato è in crescita ed è interessato a tali tecnologie.



Importante è fornire anche un'idea delle regioni geografiche che sono state protette per prime con tali brevetti: gli USA dominano la classifica, ma molti sono anche stati depositati fin dall'inizio con il fine di coprire l'EU o addirittura tutto il mondo.





4.4. Patent Landscape – Space applications

Si focalizza ora l'attenzione sulle tecnologie di *grip* e *manipulation* in ambito *aerospace*. Lo scopo è di riuscire a fornire una panoramica del principale contesto brevettuale legato ai sistemi di presa presenti in questo settore, tramite i quali si intende stilare un elenco di potenziali futuri competitors e/o partners per AdapTronics. Essendo la join tra l'IPC H01 e H02 con il B64G nullo, si ometterà dall'analisi questo IPC, concentrandosi sugli IPC B64G e B25J.

4.4.1. Query 1

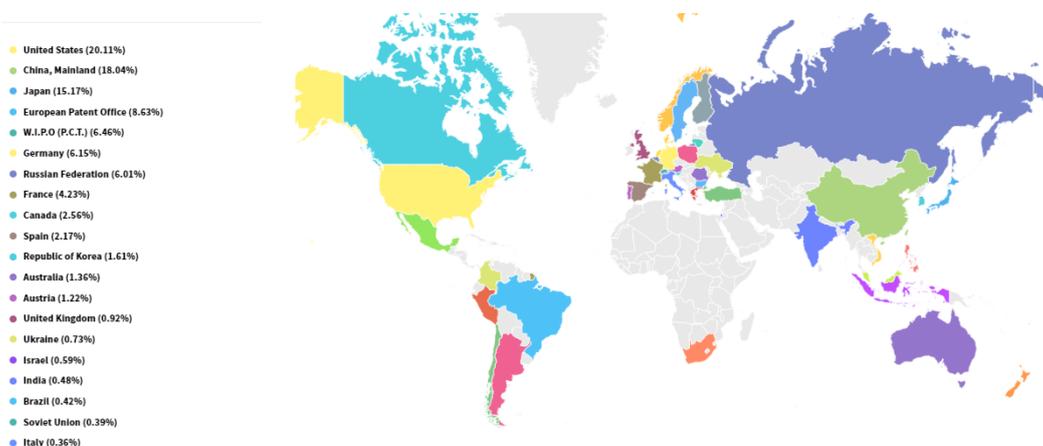
Si inizia generando una query generale per i brevetti che riguardano la manipolazione (accoppiamento e separazione) di veicoli cosmonautici (IPC B46G/164).

Query 1:

IC = ((B64G000164));

OUTPUT: 6222 patents published and 3825 patents granted.

USA, Cina, Giappone ed UE in coda, sono le regioni trainanti in questo tipo di mercato. Essendo l'output troppo vasto, non ha rilevanza ai fini dell'analisi, ma può essere d'aiuto a intuire quali regioni partecipano attivamente in questo mercato.





4.4.2. Query 2

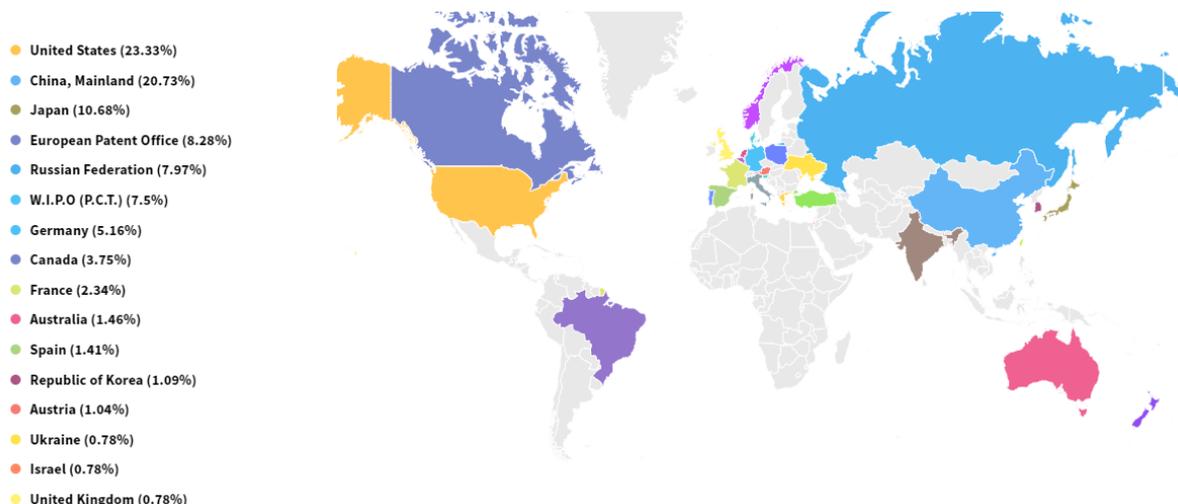
A seguito di quanto detto, si restringe il campo di ricerca alle tecnologie di *grip* e simili, inserendo le relative *key words*.

Query 2:

IC = ((B64G000164)) AND CTB = (grip* or dock* or berth* or captur* or grab*);

OUTPUT: 1387 patents published and 979 patents granted.

Di questi il 65% è stato concesso, mentre il 35% è stato depositato. Gli stati più con il maggior numero di brevetti risultano essere ancora una volta USA, Cina e Giappone seguiti da UE e Russia.



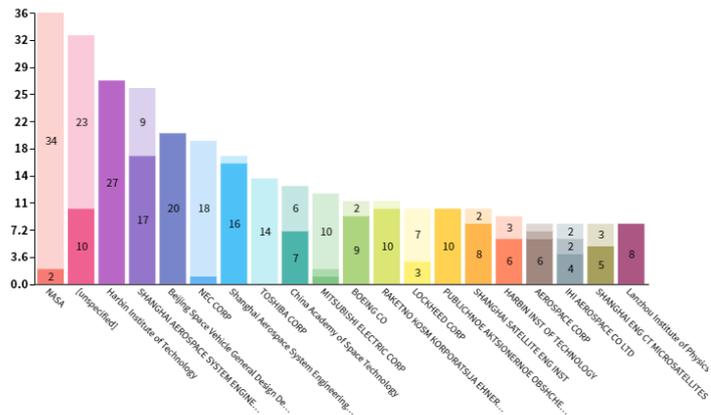
I principali players in questo contesto risultano essere la *Harbin Institute of Technology*, *NEC corp*, *Shanghai Aerospace System Engineering*, *Beijing Space Vehicle General Design Department*, *Toshiba Corp*, *China Academy of Space Technology* e la *Mitsubishi Electric Corp*.

Da notare il fatto che la NASA abbia 34 brevetti decaduti ed attualmente sembra averne solo 2 attivi e concessi in tale ambito.



Legend

- NASA (36)
- [unspecified] (33)
- Harbin Institute of Technology (27)
- SHANGHAI AEROSPACE SYSTEM ENGINEERING INST (26)
- Beijing Space Vehicle General Design Department (20)
- NEC CORP (19)
- Shanghai Aerospace System Engineering Institute (17)
- TOSHIBA CORP (14)
- China Academy of Space Technology (13)
- MITSUBISHI ELECTRIC CORP (12)
- BOEING CO (11)

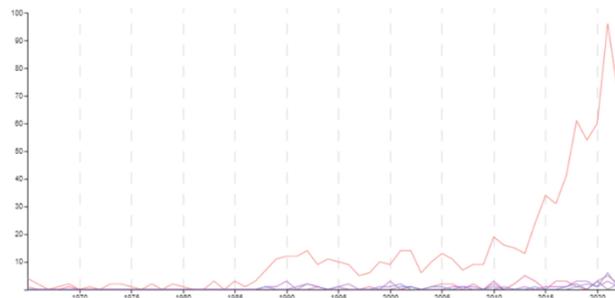


Il trend relativo alle applicazioni per *spacecraft* e satelliti risulta essere pressoché saturo, occupando la maggior parte del mercato per tali applicazioni. Il mercato della robotica e manipolazione (di nostro interesse) non sembra essere al momento di particolare rilevanza, stante la query di cui sopra. Questo fatto porta a riflettere sul perché di tale output: il campo della robotica potrebbe rappresentare un terreno fertile per un business futuro essendo le innovazioni ancora poche e/o agli stadi iniziali oppure potrebbe non essere di interesse per il settore?

Stante alle analisi di mercato sopra condotte, è lecito presumere che in futuro il mercato richiederà nuovi sistemi versatili di manipolazione per facilitare le IOS.

Legend

- SPACECRAFT, SATELLITE, ORBIT, ROCKET, LAUNCH VEHICLE, ATTITUDE CONTROL, PROPELLANT
- PROJECTILE, AMMUNITION, SHAPED CHARGE, PRIMER INSERT, BULLET, EXPLOSIVE, ARROW
- ROBOT, MANIPULATOR, END EFFECTOR, GRIPPER
- FASTENER, NUT, BOLT, MOUNT, CLAMP, CLIP, SCREW
- AIRCRAFT, UNMANNED AERIAL VEHICLE, DRONE, FLIGHT, LANDING, ROTORCRAFT, PROPULSION





4.4.3. Query 3

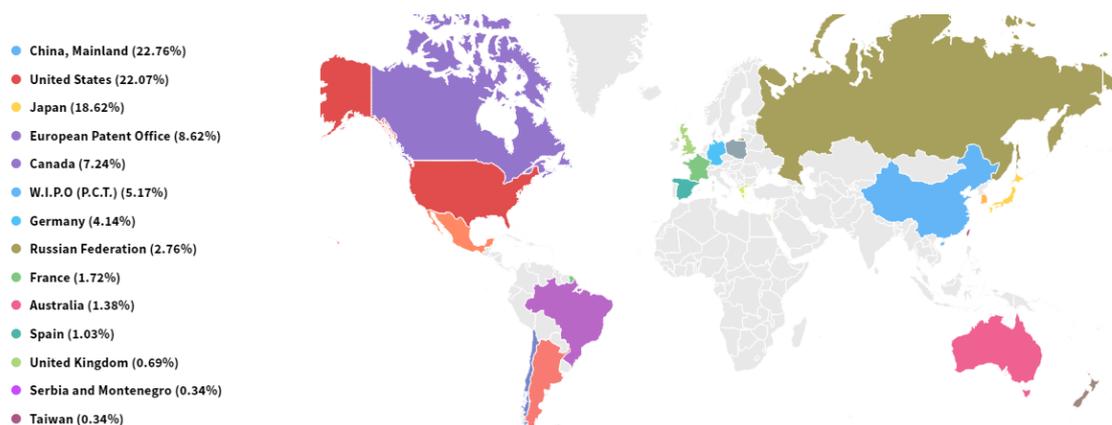
A questo punto si procederà con un “*inner join*” tra gli IPC di maggiore interesse, ovvero B25J e B64G. Si vuole in questo modo estrapolare quei brevetti che riguardano manipolatori e sistemi di grip applicati nel settore aerospaziale.

Query 3:

IC = (B64G and B25J) AND CTB = (grip* or dock* or berth* or captur* or grab*);

OUTPUT: 204 patents published and 156 patents granted.

Il numero di brevetti concessi scende al 62% mentre quelli depositati in stato di attesa ricoprono il 38%, indice che ci sono tecnologie in fase emergente. Le regioni maggiormente coinvolte risultano essere sempre USA e Giappone, seguite da UE, mentre solo il 5% di tali brevetti garantisce una copertura in tutto il mondo (WIPO).

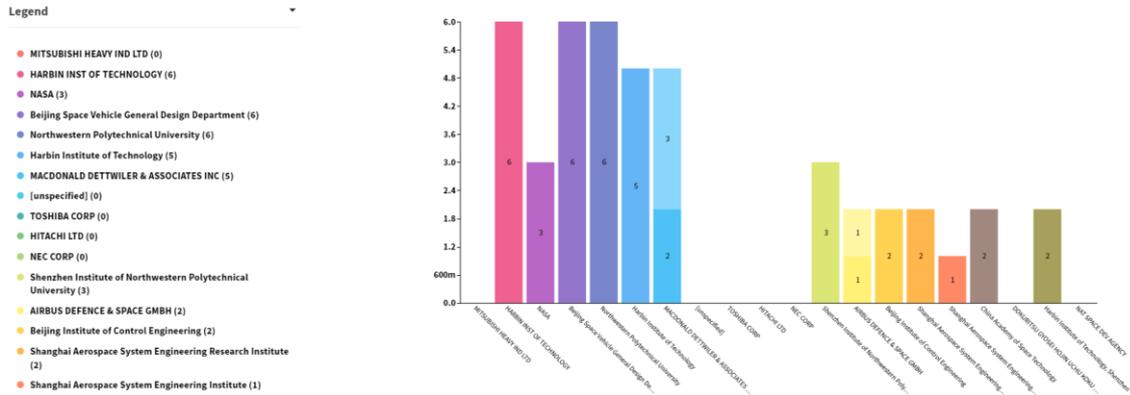


I players maggiormente attivi ad oggi risultano essere la NASA e la *Harbin Institute* (sono stati omessi dal grafico seguente i brevetti scaduti). Per tale motivo Mitsubishi non risulta tra i possibili utilizzatori di tale tecnologia, non avendo ad oggi brevetti ancora in vita. Nel complesso non sembra esserci grande innovazione da parte di un player specifico (ad esclusione delle due menzionate sopra).

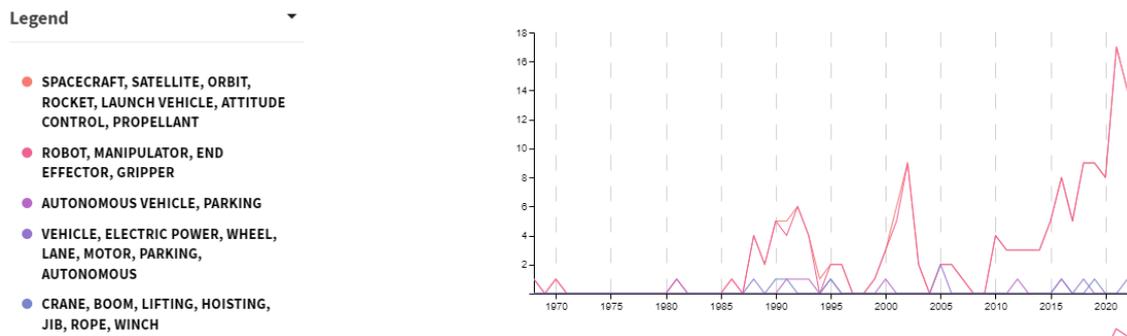
È lecito pensare che i brevetti siano stati depositati da una moltitudine di imprese più



piccole, o start-up ai primi stadi di sviluppo.



Le applicazioni principali come prevedibile riguardano i satelliti ed oggetti in orbita, cresce adesso anche il trend dei manipolatori e robot (sovrapposti nelle curve del grafico sotto) a seguito del restringimento della query di ricerca che considera i brevetti con IPC B25J.





4.4.4. Query 4 e 5

Infine, utilizzando la query precedente, la si vuole sviluppare includendo anche gli IPC H01L, H02N, B29C, C09J e F16B (cfr. capitolo 4.3) e tutti i possibili sinonimi della parola “*docking*” emersi durante le ricerche precedenti, in modo tale da fornire uno scenario più completo possibile. Si include anche “*electr**” così da poter identificare quelle tecnologie che possano avere un tipo di collegamento con tale *key word*. Per poter avere la situazione aggiornata del contesto brevettuale, si focalizza l’attenzione a quei brevetti depositati dopo il 2002. La query di riferimento è la seguente:

Query 4:

```
IC = (((B25J) OR (B29C) OR (C09J) OR (F16B) OR (H01L) OR (H02N)) AND (B64G)) AND  
CTB = (electr* AND (dock* or pick* or capt* or grab* or grip* or clutch* or tether* or  
adhesi*)) AND DP >= (20020101) AND DP <= (20220912);
```

I risultati della ricerca tramite il software mostrano **95 patents published** e **68 patents granted**. Restringendo ulteriormente il campo soffermandosi sull’IPC specifico del docking (B64G/16/4):

Query 5:

```
IC=(((B25J) OR (B29C) OR (C09J) OR (F16B) OR (H01L) OR (H02N)) AND (B64G000164))  
AND CTB=(electr* AND (dock* or pick* or capt* or grab* or grip* or clutch* or tether*  
or adhesi*)) AND DP>=(20020101) AND DP<=(20220912);
```

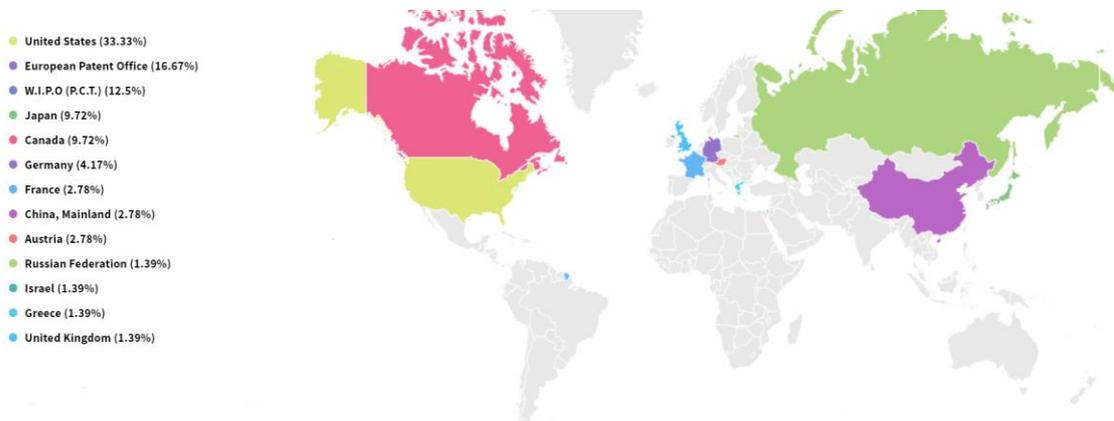
L’output restituisce solo più **37 patents published** e **21 patents granted**.

Si interrompere la ricerca a questo punto, in quanto dettagliando ulteriormente la query (includendo come *key words* *print** ed *electroad**) non vengono prodotti risultati. Si riportano nel seguito i dati più rilevanti derivanti dalla query 5.

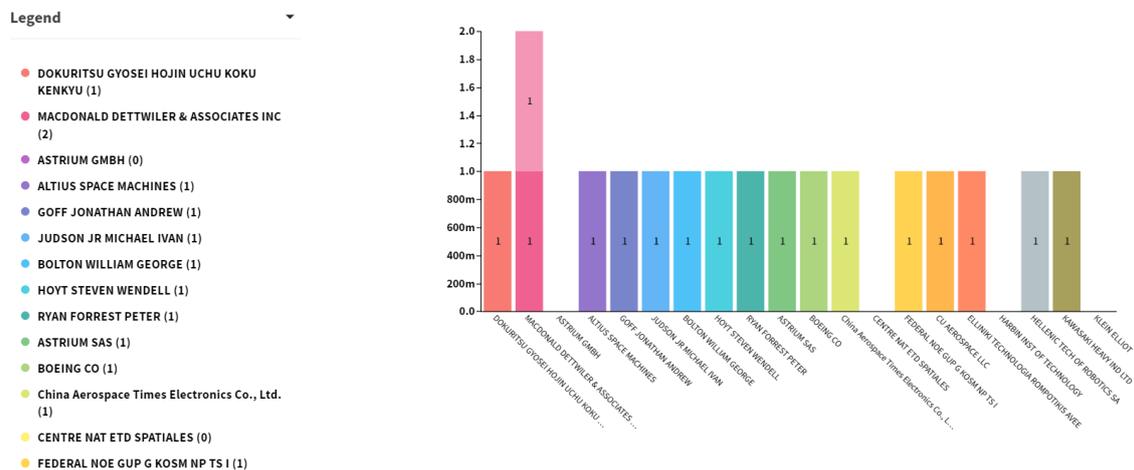
Gli stati di maggior diffusione rimangono gli USA, seguiti da UE e Giappone, mentre il 12,5% dei brevetti coprono tutto il mondo. Il 47% del totale è in stato di *pending*,



anche in questo caso si denota un particolare interesse del mercato verso lo sviluppo di tali tecnologie.



I brevetti appartengono a società/enti differenti, per cui non risultano players a stadi di sviluppo più avanzati rispetto ad altri: questo fatto conferma la teoria che in molti cercano di offrire soluzioni di questo tipo, e che probabilmente ancora nessuno è riuscito a trovare un prodotto in grado di predominare sugli altri.

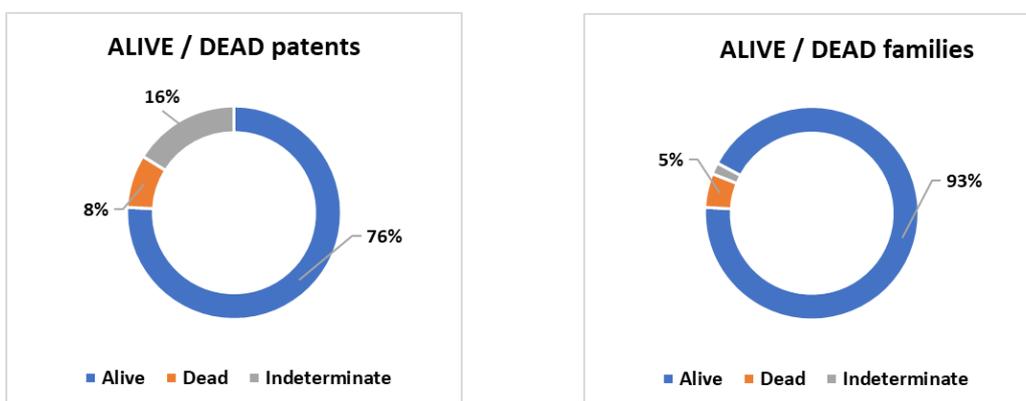




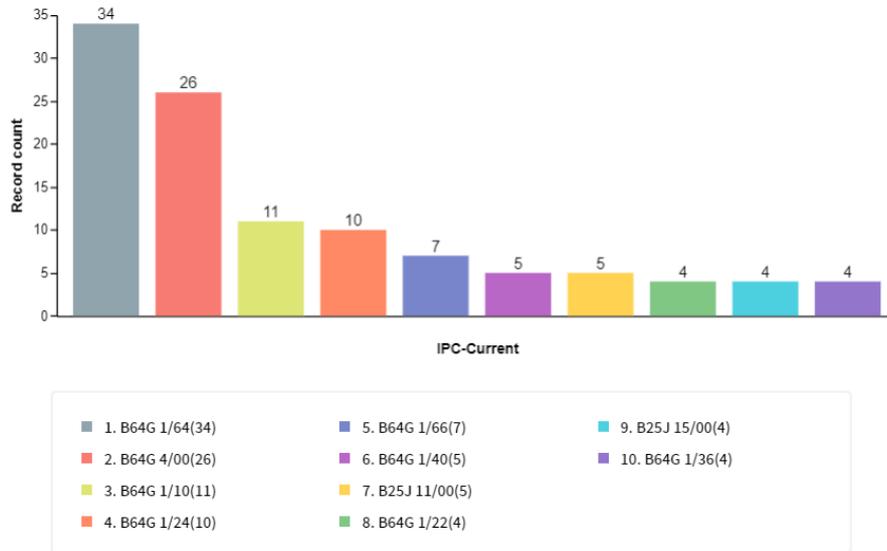
4.5. DataBase SPACE

Si procede questa volta tramite un export dei risultati della Query 4 su foglio Excel, in modo tale da poter effettuare un'analisi più puntuale, pulendo i *records* dai risultati non inerenti al contesto di interesse ed eliminando eventuali duplicazioni. Anche in questo caso, tale DB è integrato con una ricerca puntuale sui brevetti posseduti dai players di settore (cfr. capitolo 3.2.4 e 3.3.4). Si ottiene in questo modo un file contenente un totale di **62 brevetti**.

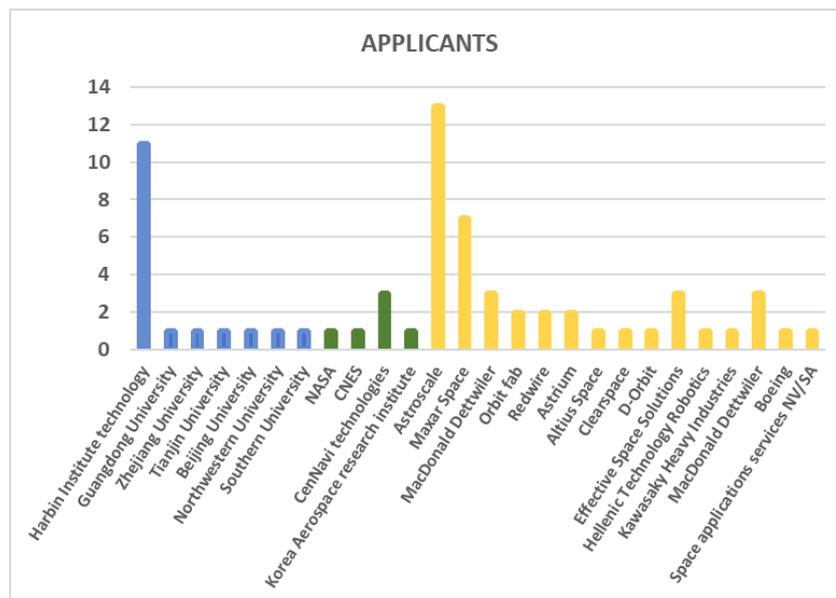
Come riportato sui diagrammi sotto, il 76% di questi è ad oggi attivo, mentre la percentuale per le relative INPADOC-families sale al 93%: questo dato porta a ipotizzare che le società che possiedono tali brevetti li stiano effettivamente utilizzando per applicazioni sul mercato, essendo molto bassa la percentuale di quelli lasciati decadere.



Gli IPC maggiormente utilizzati appartengono alla classe B64G ovvero quelli relativi ad apparecchi cosmonautici e a relative attrezzature, con focus sui sistemi di accoppiamento e separazione.



Molte sono gli istituti di ricerca e universitari che si occupano di sviluppare nuove soluzioni in questo mercato, soprattutto nelle regioni dell'est asiatico. Alcuni brevetti appartengono ad enti nazionali quali la NASA e CNES, ma la maggior parte è stata depositata da aziende più "piccole" quali astroscale, orbit fab... Questi ultimi sono i players su cui focalizzare la nostra attenzione per meglio definire il loro ruolo nel settore dell'IOS e ADR.





La maggior parte di tali brevetti, ca conferma di quanto detto sopra, ha le radici in asia e negli USA. Sono solo 4 quelli che coprono in tutto il mondo, e 8 in UE.

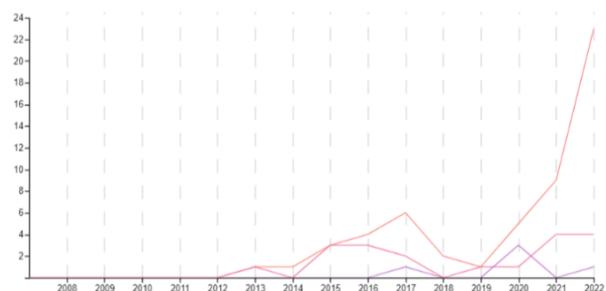
Top countries/regions



Le applicazioni principali vertono su satelliti e prodotti simili, mentre i manipolatori sono bassi: stante questi dati sembra non esserci nessuno che si focalizza esclusivamente sui sistemi robotici e di docking. Questa è un'evidenza importante per trarre le successive conclusioni su un futuro posizionamento di mercato e il punto della catena di valore in cui collocarsi.

Legend

- SPACECRAFT, SATELLITE, ORBIT, ROCKET, LAUNCH VEHICLE, ATTITUDE CONTROL, PROPELLANT
- ROBOT, MANIPULATOR, END EFFECTOR, GRIPPER
- FASTENER, NUT, BOLT, MOUNT, CLAMP, CLIP, SCREW





5. CONCLUSIONI

Nell'ultimo capitolo saranno riportate le conclusioni a cui si è potuti giungere a seguito delle ricerche e analisi condotte nei capitoli precedenti. Sarà fornito un punto di vista sulla possibilità di brevettare la tecnologia e una panoramica sui *players* di mercato finalizzata a evidenziare le realtà che possono essere un ostacolo allo sviluppo di un business e quelle che, al contrario, possono risultare dei *partner* strategici. Si vogliono poi fornire delle soluzioni sul possibile posizionamento di mercato di AdapTronics, sia dal punto di vista strategico che di prodotto. Infine, a seguito di tali conclusioni, si discuteranno brevemente gli aspetti che è consigliabile approfondire in futuro per poter confermare le ipotesi strategiche fatte.

5.1. Patent Landscape

5.1.1. Terra

Il *patent landscape* condotto nel corso del capitolo 4.2, come detto, ha avuto l'obiettivo di portare alla luce brevetti che possono essere simili (o almeno potenzialmente sostitutivi) in ottica di mercato rispetto a quello futuro di AdapTronics. Inoltre, ha permesso di evidenziare alcuni aspetti strategici e funzionali al deposito brevettuale. Nell'elenco seguente sono riportate le informazioni a cui si è giunti:

- USA, Cina, Corea e UE (anche se in proporzioni minori) sono le aree geografiche in cui si innova maggiormente in tecnologie di manipolazione robotica.
- Il numero di brevetti depositati e in attesa di approvazione è elevato, con una media di quasi il 50% sul totale (come si riscontra dal DB generato): questo è un fattore che dimostra l'interesse per lo sviluppo di nuove soluzioni applicative da parte del mercato.



- I player principali che si occupano di sviluppare tecnologie di manipolazione robotica in ambito terrestre sono riportati, a consuntivo del DB creato (cfr. Capitolo 4.3), in tabella 10: essa riporta oltre ad una descrizione della tecnologia *core* dell'azienda e del contesto applicativo, anche una panoramica sul fatturato e sul numero di brevetti dell'azienda. Tali informazioni sono state integrate mediante ricerche online, tramite le quali si è potuto trovare un nuovo potenziale competitor, Omnigrasp: al momento non possiede ancora brevetti, ma essendo una start-up nata da un progetto tra il Politecnico di Bari e di Losanna, e considerando la presenza di due brevetti nel DB appartenenti a quest'ultimo, essi saranno quasi sicuramente concessi in licenza ad Omnigrasp (ammesso che già non lo siano).

Tabella 10- Players rilevanti a seguito dell'analisi

Nome Società	Tipologia	Tecnologia core	Contesto applicativo	Geografia	Fatturato	# Brevetti
<i>Grabit</i>	Start-Up	EAD per gripping di oggetti di diverso peso	Applicazione su linee di produzione per evitare intervento umano	USA	2,3 M\$	6
<i>Immersion Corp</i>	Company	Wearable EAD	Principalmente applicazioni su settore game e manipolazione apparati elettronici	USA	35 M\$	2
<i>Soft Robotics</i>	Company	Picking basato su EAD	Settore del food (Earth)	USA	311 M\$	2
<i>Omnigrasp</i>	Start-Up	Pinza EAD che si adatta alla forma dell'oggetto	Operazioni di pick-and-place per oggetti fragili, deformabili e dal forma irregolare	Swiss / ITA	n.d.	0

- Buona parte dei brevetti appartiene ad università americane (Stanford per prima, ma anche Harvard e quella della Columbia) e coreane: in queste regioni



sono quindi concentrati know-how e competenze vicine a quelle sviluppate da AdapTronics. Questa evidenza porta a due osservazioni importanti: tali brevetti potrebbero essere stati concessi in licenza a società come nel caso del Politecnico di Losanna con Omnigrasp (o potrebbero potenzialmente esserlo), portando così ad un'estensione del panorama competitivo. Il fatto che tali brevetti siano stati depositati dalle università implica che in queste strutture siano presenti risorse umane con conoscenze simili a quelle di AdapTronics.

- Sono state condotte ulteriori ricerche nel corso della stesura del presente lavoro, integrando e combinando parole più specifiche riguardanti anche il processo di produzione dei film sottili di AdapTronics (*aerosol*, *erojet*, *roll to roll*...) ma tali ricerche non hanno portato risultati quando combinate con *electroad**. Risultato questo che risulta essere interessante ai fini di deposito brevettuale, e sembra lasciare spazio per la richiesta di brevetto (sia dal punto di vista di prodotto che di processo).

5.1.2. Spazio

Il *patent landscape* condotto nel capitolo 4.3 ha permesso di identificare le aree e le società interessate al mercato del *docking* nel settore *aerospace*. Le conclusioni che si traggono dall'analisi dei risultati sono le seguenti:

- La Harbin Institute Of Technology, università cinese, detiene un grande numero di brevetti in questo ambito: è chiaro che in tale zona geografia ci sia una forte spinta verso questo tipo di tecnologie e che presumibilmente siano molti gli individui che possiedono competenze utili ad AdapTronics.
- Da un'analisi analoga alla query 3 del capitolo 4.2.3, che tenga in considerazione le stesse parole chiave ma relativa all'IPC B64G, ovvero al



settore spaziale non ha prodotto risultati, il che porta a pensare che ad oggi in tale settore l'applicazione di un sistema di grip flessibile ed estensibile, basato sull'elettro-adesione, non sia ancora stata utilizzata (o almeno nessuna azienda ha ancora depositato brevetti in tale direzione). Questo sembra essere un risultato molto favorevole dal punto di vista di *timing* per l'ingresso nel mercato: AdapTronics ha buone possibilità di creare un vantaggio competitivo potendo rappresentare il *first mover*.

5.1.3. Strategia Brevettuale

A valle delle osservazioni di cui sopra, e stante i dati raccolti nel presente lavoro, non ci sono problemi che possano ostacolare un deposito brevettuale, sia nel caso questo copra applicazioni terrestri, sia applicazioni nello spazio: in quest'ultimo settore la tecnologia di elettro-adesione non sembra ancora aver avuto delle applicazioni nel campo del *docking* rilevanti a tal punto da depositare un brevetto in merito.

Le aree geografiche nelle quali si consiglia di estendere il brevetto oltre ovviamente l'Italia e l'Europa, sono:

- Stati Uniti: tale regione presenta una moltitudine di aziende del settore *aerospace* e soprattutto comprende al suo interno università che fanno ricerca e depositano brevetti in merito all'elettro-adesione. Il rischio che in un futuro non lontano possano arrivare a sviluppare un prodotto come quello della startup in esame esiste.
- Asia: soprattutto in Cina dove la Harbin Institute possiede molti brevetti nel campo del *docking* in orbita. Questa università possiede un know-how che potrebbe essere interessante per AdapTronics in merito alle tecnologie esistenti di *docking*, ma costituisce anche una possibile minaccia in quanto, continuando a sviluppare nuove soluzioni per l'aggancio nello spazio, potrebbe arrivare un giorno a proporre tecnologie che utilizzino l'elettro-adesione.



Ricapitolando, le regioni in cui dovrebbe essere esteso il brevetto sono l'Europa, gli USA e la Cina. Queste ultime due regioni sono inoltre interessanti per le competenze che possiedono le università di Stanford (know-how utile per ricerca e sviluppo della tecnologia) e di Harbin (know-how strategico di settore). AdapTronics dovrebbe valutare l'opportunità di entrare in contatto con queste realtà, in quanto presentano risorse umane che possono essere fonte di vantaggio competitivo per un business in ambito *aerospace* e non solo, e prendere in considerazione la possibilità di integrare tale personale all'interno del proprio team per rafforzare le competenze tecniche, velocizzare i processi di R&D e di competenze in termini di mercato e soluzioni esistenti.



5.2. Posizionamento di Mercato

Sottostante le ricerche di mercato presenti in tale lavoro di tesi, e la tecnologia in esame, si è giunti all'individuazione dei possibili *use case* sui quali è lecito prevedere la costruzione di un futuro business. Ovviamente, tali ipotesi richiederanno operazioni di validazione di mercato da parte della startup per poter essere confermate.

5.2.1. Use Case principali

Essendo il mercato della *new space economy* in forte crescita, il momento per entrare nel settore è quello giusto. Considerando l'aumento dei lanci in orbita (cfr. Capitolo 1.3) la domanda di IOS andrà presumibilmente ad aumentare negli anni. Ad oggi operazioni quali re-fuelling e life-extension richiedono l'attracco con i satelliti nello spazio e, come precedentemente evidenziato, uno dei forti limiti ad oggi è il bisogno di avere un meccanismo di aggancio già predisposto sul target. Questo è uno dei punti di forza su cui AdapTronics deve puntare: la membrana elettro-adesiva, adeguatamente integrata sui sistemi di docking potrebbe consentire di creare un sistema di attracco agli oggetti in orbita senza il bisogno della predisposizione ex-ante di sistemi di aggancio fisici, consentendo una più snella operazione di manutenzione e life-extension. Nello specifico, la tecnologia risulta utile nei seguenti *use cases*:

- *Soft docking*, ovvero quella che precede la chiusura ermetica (cfr. Capitolo 3.4): questa operazione è molto delicata e, con i sistemi attuali di aggancio meccanico se i connettori non sono perfettamente allineati si rischia di compromettere non solo il servizio, ma anche di danneggiare irrimediabilmente il sistema di aggancio anche per gli usi futuri. Si pensi inoltre a quei satelliti ormai obsoleti, o per i quali i sistemi di aggancio non sono più disponibili: con la



presente soluzione tecnica si potrebbe essere in grado di agganciarli e recuperarli, sia per servizi di manutenzione che di de-orbiting.

- *Berthing*: questa particolare tipologia di presa implica l'utilizzo di un braccio meccanico che ha il compito di afferrare il satellite e ruotare in modo tale da allinearlo con il suo sistema di aggancio. Il primo step dell'operazione, effettuato tramite un manipolatore, è anch'essa molto delicato e potrebbe essere un altro caso interessante in cui la membrana di AdapTronics può essere sfruttata come "*wearable glove*" sul manipolatore.

La stampa 3D direttamente in orbita dei pezzi di ricambio per satelliti e pannelli solari sta diventando un altro tema caldo nel settore come testimoniano il caso della Leonardo che ha portato la prima stampante 3D sulla ISS nel 2015 e un progetto di studenti tedeschi che sta attualmente testando un sistema di stampa in assenza di gravità [71]. Tali prodotti dovranno poi essere montati sugli oggetti target: altro *use case* molto interessante, in cui un manipolatore universale riveste un ruolo fondamentale per permettere un'efficace azione di assemblaggio.

Sottostante le caratteristiche degli EAD di AdapTronics, un ultimo *use case* può essere visto nell'operazione di ADR: esso sarebbe in grado di raccogliere qualunque oggetto in orbita senza riscontrare problemi dovuti alla forma geometrica del target. Ad oggi questa sembra essere la soluzione meno interessante: ancora nessun attore privato è interessato a pagare per le missioni di rimozioni dei detriti, in quanto non generano entrate e la probabilità di collisioni è ancora troppo bassa (cfr. Capitolo 3.3). Tuttavia, in ottica di espansione del business in futuro, riveste sicuramente un'opportunità da tenere in considerazione considerando l'aumento esponenziale dei detriti in orbita.



5.2.2. Possibile Strategia

Conviene quindi dividere la strategia di ingresso nel mercato in due fasi. In un primo momento focalizzarsi sugli *use case* per i quali i clienti paganti sono più semplici da trovare, si parla quindi di missioni OSAM (on-orbit servicing, assembly and manufacturing) perché questi servizi portano entrate aggiuntive e a risparmiare (cfr. Capitolo 3.2) per cui i privati sono più incentivati a pagare.

Solo in una seconda fase, quando il mercato comincerà ad avvertire la necessità di rimuovere i detriti nello spazio e le probabilità di impatto aumenteranno, allora avrà senso espandere il business anche in questo segmento.

È opportuno però essere pronti ad affrontare entrambi gli step e poter rispondere alle richieste di mercato in modo tempestivo: collaborazioni, progetti pilota e test devono essere portati avanti fin da oggi in parallelo per tutti gli *use case* e poter dimostrare il funzionamento della tecnologia.

5.2.3. Il prodotto

Una delle decisioni più difficili da prendere riguardano il prodotto, ovvero cosa dovrà effettivamente vendere AdapTronics: quale punto della *value chain* permette di “catturare” il maggior beneficio creato dalla tecnologia brevettata?

Le opzioni a questo stadio di sviluppo della startup sono due: il solo EAD prodotto internamente che il cliente acquisterà con il fine di applicarlo sui propri dispositivi, oppure vendere direttamente il sistema di *docking* con la membrana elettro-adesiva già predisposta. In quest’ultimo caso si renderebbe necessario trovare un fornitore del componente sul quale poter applicare la tecnologia e rivendere il manipolatore pronto all’uso, o comunque prevedere nel proprio impianto industriale un macchinario in grado di produrre i componenti meccanici desiderati.



Sono due le motivazioni alla base della quale optare per la prima soluzione, almeno in fase iniziale, sembra essere la scelta migliore. Essendo necessario il *testing* nello spazio, è consigliabile iniziare stringendo delle collaborazioni con imprese già operanti nello spazio nel mercato OSAM, in modo tale da poter validare l'efficacia della tecnologia in orbita, e poter individuare con precisione con quale tipo di sistema di *docking* può essere compatibile la membrana o come questo dovrebbe essere sviluppato in modo da investire nella direzione giusta in un secondo momento: conviene quindi iniziare con l'offerta del solo EAD e, in una fase successiva, valutare l'opzione di fornire un sistema di docking già completo.

Il secondo motivo che porta a tale conclusione riguarda i costi. Un sistema già funzionante ha elevati costi di produzione e, nel caso si decidesse di esternalizzare la produzione, si sarebbe soggetti a tutti i rischi riguardanti il fornitore e il potere contrattuale di quest'ultimo nei confronti di una realtà ancora giovane come quella di AdapTronics, che ancora risulta in fase di validazione di mercato: si presenterebbe il rischio di dover lasciare la maggior parte del valore creato (anche in termini di prezzo finale al cliente) in mano al fornitore.



5.3. Players di settore

Si fornisce nel seguito del capitolo un commento riguardante i competitors e partners rispetto ad AdapTronics. Inoltre, si cercheranno di identificare quelle società che possono essere di supporto alla startup per lo sviluppo della sua tecnologia, specialmente in questa sua fase iniziale.

5.3.1. Copetitors Diretti

Di particolare rilevanza per il panorama competitivo riguardante AdapTronics rivestono *Omnigrasp*, *Grabit* e *Immersion* (cfr. Capitolo 5.1.1) che possiedono tecnologie simili: sfruttano lo stesso principio fisico e potrebbero essere potenzialmente concorrenti nel momento in cui decidessero di espandere il loro business in ambito *aerospace*. Possibilità questa che risulta essere poco probabile in quanto dalle ricerche di mercato, e navigando sui rispettivi siti web, il focus del loro business risulta essere lontano da questo settore. Ci si chiede allora quali possano essere definiti competitors in ambito *aerospace*: nel paragrafo successivo si cerca di offrire una panoramica su quelli che possiamo definire *competitors "indiretti"*, ovvero tutti quei *players* che, nonostante non utilizzino sistemi elettro-adesivi in orbita, offrono sul mercato prodotti per il *docking*, o in generale servizi di manipolazione per le operazioni di IOS e ADR.

5.3.2. Competitors Indiretti e Partners

Non risulta semplice definire con esattezza quali attori possano essere classificati come potenziali competitors (indiretti) o partners, la discriminazione tra i due dipende dal punto nella *value chain* in cui deciderà di inserirsi AdapTronics. Ad esempio, un attore che progetta bracci robotici per l'assemblaggio in orbita può essere visto come partner



nel caso in cui si decida di essere fornitore della sola membrana per facilitare il *docking*, ma risulta un concorrente nel momento in cui si decida di vendere il *gripper* con la tecnologia già applicata. Nel primo caso i competitors saranno quelle società che producono sistemi di *docking* e tecnologie di *gripping* simili (o sostitute) a quella potenziale di AdapTronics, nel secondo caso il parco di attori che possono risultare competitors si allarga in funzione di cosa sarà offerto sul mercato.

Nella tabella 11 è riportato il consuntivo dei players più importanti risultanti dalle ricerche condotte nel capitolo 3, integrati con quelli emersi da ricerche in rete, che operano nel settore di IOS e/o che hanno (o stanno sviluppando) tecnologie simili a quella di AdapTronics. Per ciascuno di essi si individueranno: il ruolo che potrebbero rivestire in futuro (C=Competitor o P=Partner) e le dimensioni dell'azienda in termini di fatturato e numero dipendenti (ove possibile) mediante ricerca sul database di Orbis. Si omettono le grosse corporate di settore (quali Lockheed Martin, Leonardo, Northrop Grumman...)

I dati sono aggiornati all'anno 2021.

Tabella 11- Riepilogo Players settore Aerospace (IOS e ADR)

Nome Società	Tipologia	Tecnologia core	Contesto applicativo	Geography	Fatturato e Dipendenti	C/P
Altius Space	Start-Up (2010)	DogTags: Interfacce di presa supportate da diversi metodi: magnetica, elettrostatica, adesiva, meccanica	Progettazione HW di volo, sistemi robotici, test in lab (Space). Finalizzati a semplificare i servizi in orbita.	USA	4,3 Mln \$ 20 dipendenti	P
Rogue Space Systems	Start-Up (2020)	"Omnimagnets" 3 elettromagneti che generano un campo magnetico in grado di catturare all'interno l'oggetto	Progettazione veicoli per IOS e ADR (Space)	USA	4 Mln \$ 28 dipendenti	C



Redwire Space	Azienda (2020)		Manifattura e assemblaggio in orbita e digital engineering technology	USA	138 Mln \$ 600 dipendenti	P
D-Orbit	Azienda (2011)	Metodi di lancio e rilascio di satelliti in orbita, propulsori per piccoli satelliti	Logistica e sistemi trasporto in orbita (Space)	EU	3 Mln \$ 72 dipendenti	P
Starfish Space	Start-Up (2019)	Rimorchio spaziale multifunzione	IOS e ADR	USA	2,5 Mln \$ 11 dipendenti	P
Infinite Orbits	Azienda (2017)		Servizi life-extension in GEO (satelliti per telecomunicazioni)	FRA	3,2 Mln \$ 50 dipendenti	/
Clearspace	Azienda (2017)	Sistemi cattura oggetti in orbita	ADR e De-Orbiting (Space)	EU	20 Mln \$ 83 dipendenti	P/C
Astroscale	Azienda (2013)	Sistemi e processi di cattura oggetti in orbita (ADR)	ADR, attracco con satelliti in orbita (Space)	Worldwide	19 Mln \$ 120 dipendenti	C
Effective Space	Company (Part of Astroscale)	Flotta di piccoli spacecraft con sistema docking universale	Last-Mile Logistics e Life-extension	ISR	/	C
Kurs Orbital	Start-Up (2021)	Kurs-One (piattaforma docking universale)	Satellite relocation, De-orbiting, ADR, Inspection	EU	/ 20 dipendenti	C
Obruta Space	Azienda (2019)	(RPOD) Autonomous spacecraft docking	IOS e logistica spaziale	CAN	15 Mln \$ 78 dipendenti	P
Orbit Fab	Start-Up (2018)	Supply Chain per rifornimento propellente	Refueling in GEO e LEO	USA	1 Mln \$ 5 dipendenti	P
Launchspace	Azienda (2016)	Costellazione satelliti che monitorano e rimuovono	Monitoraggio e ADR	USA	2,7 Mln \$ 11 dipendenti	C



Tra queste realtà alcune stanno sviluppando o hanno già sviluppato tecnologie per attraccare i satelliti, con l'obiettivo di risolvere il *need* di un sistema versatile con il quale sia possibile interfacciarsi con qualunque tipo di satellite per poter eseguire attività di IOS e ADR. Tra le realtà giovani più pericolose per lo sviluppo del business di AdapTronics si trovano Rogue Space, Effective Space e Kurs Orbital.

La prima vuole affrontare lo stesso problema della startup in esame, ovvero facilitare il controllo e la manipolazione degli oggetti in orbita. La proposta di valore risulta tuttavia meno forte rispetto a quella di AdapTronics: essendo il prodotto una pinza magnetica il suo utilizzo è limitato alla sola manipolazione di oggetti conduttivi non magnetici [72].

La seconda è stata acquisita recentemente da Astroscale, azienda che si sta specializzando in operazioni di ADR. Effective Space fornisce agli operatori satellitari servizi di IOS, distribuendo e gestendo una flotta di piccoli veicoli spaziali che dovrebbe essere in grado di eseguire il *docking* con qualunque tipo di oggetto in orbita. Il fatto che questa sia ora parte di una società più grande, che possa finanziarla, la rende una realtà da tenere sotto controllo.

Kurs Orbital sta progettando una piattaforma in grado di fornire servizi di IOS e ADR in orbita e vanta un team con capabilities fonti di vantaggio competitivo: sono circa 20 i dipendenti, tutti con esperienza di oltre 30 anni nello sviluppo e manifattura di sistemi per il settore *aerospace* [73]. Il sistema Kurs utilizzato conta tre componenti principali: un radar, un sistema di visione artificiale istruito tramite machine learning e il terzo è un telemetro laser. L'insieme di questi componenti consente operazioni di attracco completamente automatici, anche con oggetti non predisposti [74].

Per quanto riguarda le applicazioni di ADR le aziende più promettenti in questa direzione sembrano essere sostanzialmente due. La prima è Clearspace, la quale ha già avviato dei test per dimostrare il funzionamento nello spazio, per cui possiede un vantaggio in termini di *timing* di ingresso nel mercato. Come essa, anche Launchspace



è da oltre 6 anni nel mercato e possiede un team di esperti con oltre 20 anni di esperienza nel settore *aerospace* e che risultano essere fonte di vantaggio competitivo.



5.4. Prossimi Step

Il presente elaborato ha fornito un'analisi dello scenario all'interno del quale si intende inserire AdapTronics, formulando delle ipotesi in merito al posizionamento di mercato e sviluppo della strategia. Tuttavia, essendo appunto delle ipotesi, sarà necessario validarle sul mercato, parlando con esperti del settore e/o direttamente con esponenti delle imprese analizzate. Ci sono ancora molti nodi da sciogliere e domande senza una risposta sicura. Prima tra tutto, rimane da capire se effettivamente il mercato *aerospace* è interessato alla proposta di valore della startup, ovvero se esistono dei clienti paganti per tale tecnologia. Per poter dare una risposta a questo primo aspetto sarà innanzitutto necessario dimostrare che tale tecnologia funzioni, avviando dei progetti pilota in orbita. Bisognerà poi focalizzarsi sull'aspetto del posizionamento del prodotto, ovvero verificare che gli spunti forniti nel capitolo 5.2.1 abbiano un riscontro da parte del mercato e sarà fondamentale capire a livello pratico come implementare la membrana elettro-adesiva della start-up con le tecnologie presenti sul mercato. Per raggiungere tali obiettivi di grande importanza rivestirebbero le collaborazioni (o confronti) con alcune aziende, quali:

- Altius Space: essendo una start-up che da diversi anni sta già sviluppando tecnologie per il docking, e offrendo anche servizi di testing, potrebbe essere un partner strategico interessante. Una delle sue tecnologie, chiamata DogTags è un'interfaccia di presa che consente ai satelliti di essere afferrati con una serie di metodi, tra cui l'elettrostatica e l'adesione: sarebbe utile potersi interfacciare con gli esperti di Altius in quanto potrebbero avere un'idea di come la tecnologia di AdapTronics possa essere applicata [75].
- Redwire Space: impresa all'avanguardia nei servizi OSAM, possiede una piattaforma (Archinaut) che permette la costruzione di grandi strutture assemblate nello spazio. Un manipolatore elettro-adesivo potrebbe facilitare



tali operazioni, o aprire addirittura a nuove soluzioni non ancora esplorate oggi [76].

- D-Orbit: essendo la prima azienda di logistica spaziale, possiede un know-how e personale con un background in grado di poter fornire informazioni molto utili sui possibili *use case* su cui può focalizzarsi AdapTronics [77].
- Orbit Fab: l'obiettivo della start-up è di creare una rete per il rifornimento in orbita dei satelliti. Potrebbe essere per loro utile avere un sistema universale che permetta l'attracco di qualunque tipo di satellite, in modo da non essere vincolati solo ad alcuni tipi di interfacce di *docking*.

Un ulteriore tema che meriterebbe maggiore approfondimento riguarda i detriti in orbita: dalle ricerche è emerso che ad oggi il problema non è ancora sentito tra gli attori privati e che le probabilità di collisione sono ancora basse. È fondamentale poter verificare la veridicità di tali affermazioni, ad esempio confrontandosi con persone che hanno già esperienza in merito, come ad esempio il team di Clearspace, oppure con qualche compagnia assicurativa che offra coperture aerospaziali:

- AXA XL: offre soluzioni che coprono il satellite lungo tutto il suo ciclo di vita, dalla fase di pre-lancio alle manovre orbitali [78].
- ISB (International Space Brokers): essendo un broker assicurativo dedicato esclusivamente allo spazio, avrà sicuramente a disposizione dati, statistiche e informazioni più dettagliate in merito ai rischi di collisione e ai danni che questi possono causare in termini quantitativi [79].

Di fondamentale importanza sarà per AdapTronics poter contare su un team dedicato allo sviluppo del business nel settore *aerospace*, che si occuperà di due attività principali. Da un lato sarà necessario portare avanti l'analisi di mercato al fine di rimanere aggiornati su tutti i nuovi trend e bisogni di mercato, e dall'altra è



fondamentale parlare con società e startup che possono fornire supporto e consigli in merito all'utilizzo della tecnologia: quest'ultimo punto è anche molto importante in quanto permetterà di capire chi sono i clienti disposti a pagare.

Per raggiungere tali obiettivi sarà necessario non solo prendere parte a programmi di incubazione quali ESA-BIC, ma anche partecipare a eventi di settore per aumentare il network, come:

- *Space Week - Beyond the Horizon* (ITA): evento annuale dedicato alla ricerca e innovazione nel settore spaziale, promosso dall'ASI insieme ad Apre (agenzia per la promozione della ricerca europea). È un evento dove viene discusso lo stato dell'arte nel settore, le innovazioni e vi partecipano centinaia di persone, da diversi paesi europei.
- *Aerospace and Defense Supplier Summit di Seattle* (USA): è una delle più importanti manifestazioni incentrate sulla filiera della subfornitura in materia aerospaziale del nord America. Il punto di forza dell'iniziativa è rappresentato dall'agenda prefissata di incontri B2B tra società di engineering, procurement, aziende della subfornitura, fornitori di materie prime e providers di servizi.
- *Space Tech EXPO Europe* (EU): una delle fiere di settore più grandi a livello europeo. È il principale luogo di incontro della supply-chain dell'industria spaziale e nel 2022 ha accolto un numero di aziende espositrici superiore a qualsiasi altro evento spaziale a livello globale.

Il networking e la continua ricerca di mercato affiancata alla validazione delle ipotesi confrontandosi direttamente con esperti del settore saranno attività imprescindibili e core per lo sviluppo dell'idea imprenditoriale e per dimostrare il reale interesse verso gli EAD sviluppati da AdapTronics.



6. Riferimenti

- [1] McKinsey, «The role of space in driving sustainability security and development on earth,» 2022.
- [2] ASI, «Piano Triennale attività 22/24,» 2021.
- [3] «ESA - European Space Agency,» [Online]. Available: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits.
- [4] «01 SmartLife,» [Online]. Available: <https://www.01smartlife.it/classificazione-delle-orbite-dei-transponder-sat/>.
- [5] «Wikipedia,» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Orbita_geostazionaria.
- [6] «ESA - European Space Agency,» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Orbita_geostazionaria.
- [7] UniRoma, «Archived UniRoma,» 2018. [Online]. Available: https://didattica-2000.archived.uniroma2.it//EL_Spazio/deposito/Elettronica_per_lo_spazio_cap_1.pdf.
- [8] «Astrospace,» [Online]. Available: <https://www.astrospace.it/2022/01/04/nel-2021-sono-stati-lanciati-piu-razzi-orbitali-che-in-qualsiasi-anno-precedente/>.
- [9] «Dewesoft,» 2022. [Online]. Available: <https://dewesoft.com/it/daq/a-chi-appartengono-satelliti-che-orbitano-intorno-alla-terra>.
- [10] «Affari Internazionali,» 2021. [Online]. Available: <https://www.affarinternazionali.it/a-cosa-serve-lo-space-traffic-management/>.
- [11] «Satellite Today,» [Online]. Available: <https://www.satellitetoday.com/content-collection/ses-hub-geo-meo-and-leo/>.
- [12] «Wikipedia,» [Online]. Available: <https://www.space.com/kessler-syndrome-space-debris>.
- [13] «ESA - European Space Agency,» [Online]. Available: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/I_detriti_spaziali_valutazione_del_rischio.
- [14] K. Rahbek, «Electroadhesion apparatus». Brevetto US2025123A, 1935.
- [15] C. D. Ladd, Effect, Design and Characterization of Electroresponsive Polymers Based on



the Johnsen Rahbek, 2013.

- [16] J. Shintake, S. Rosset, B. Schubert e D. Floreano, Versatile soft grippers with intrinsic electroadhesion based on multifunctional polymer actuators, 2016.
- [17] J. Guo, T. Bamber, Y. Zhao, M. Chamberlain e L. Jus, Toward adaptive and intelligent electroadhesives for robotic material handling, 2017.
- [18] R. Warning, Electrostatic force employed to hold workpieces, 1960.
- [19] G. J. Monkman, P. M. Taylor e G. J. Farnworth, Principles of electroadhesion in clothing robotic, 1989.
- [20] J. Guo, K. Elgeneidy, C. Xiang e L. Justh, Soft pneumatic grippers embedded with stretchable electroadhesion, 2018.
- [21] J. U. Jeon, K. Y. Park e T. Higuchi, Contactless suspension and transportation of glass panels by electrostatic forces, 2007.
- [22] L. X., Delicate manipulations with compliant mechanism and electrostatic adhesion, 2016.
- [23] B. T., Visualization methods for understanding the dynamic electroadhesion phenomenon, 2017.
- [24] M. A. Graule, Perching and takeoff of a robotic insect on overhangs using switchable electrostatic adhesion, 2016.
- [25] R. P. Krape, Applications Study of Electroadhesive Devices, 1968.
- [26] N. Lu e D.H. Kim, Flexible and stretchable electronics paving the way for soft robotics, 2014.
- [27] S. Kumar e V. Santhanam, Inkjet printed electroadhesive pads on paper, 2017.
- [28] D. Manby, «Electroadhesive gripper». Brevetto GB16087298, 2017.
- [29] J. Germann, B. Schubert e D. Floreano, Stretchable electroadhesion for soft robots, 2014.
- [30] G. Cummins e M. P. Y. Desmulliez, Inkjet printing of conductive materials: A review, 2012.
- [31] Q. Li, Review of printed electrodes for flexible devices, 2019.



- [32] K. H. Koh e M. Sreekumar, Feasibility study for applying electrostatic adhesion on wall climbing robots, 2014.
- [33] E. W. Schaler, D. Ruffatto, P. Glick e V. White, An electrostatic gripper for flexible objects, 2017.
- [34] D. Schmidt e K. Berns, Climbing robots for maintenance and inspections of vertical structures, 2013.
- [35] J. Germann, M. Dommer, R. Pericet-Camara e D. Floreano, Active connection mechanism for soft modular robots, 2012.
- [36] J. Guo, C. Xiang e J. Rossiter, Electrically controllable connection and power transfer by electroadhesion, 2019.
- [37] C. J. C. Heath, I. P. Bond e K. D. Potter, Electrostatic adhesion for added functionality of composite structures, 2016.
- [38] D. Ruffatto, P. E. Glick, M. T. Tolley e A. Parn, Long-duration surface anchoring with a hybrid electrostatic and gecko-inspired adhesive, 2018.
- [39] J. Lee, W. Jeon, Y. Cha e H. Yang, Automatic page-turning mechanism with near-field electroadhesive force for linearly correctable imaging, 2017.
- [40] Y. Okuno, H. Shigemune e Y. Kuwajima, Stretchable suction cup with electroadhesion, 2019.
- [41] H. Culbertson, S. B. Schorr e A. M. Okamura, Haptics: The present and future of artificial touch sensation, 2018.
- [42] Y. Vardar, B. Güçlü e C. Basdogan, Effect of waveform on tactile perception by - on touch screens, 2017.
- [43] O. Sirin, M. Ayyildiz, B. N. J. Persson e C. Basdogan, Electroadhesion with application to touchscreens, 2019.
- [44] M. Ritter e D. Barnhart, Geometry characterization of electroadhesion samples for spacecraft docking application, 2017.
- [45] A. Parness, Zero gravity robotic mobility experiments with electrostatic and gecko-like adhesives aboard NASA's zero gravity airplane, 2015.
- [46] T. Bryan, T. Macleod, L. Gagliano e S. Williams, Innovative electrostatic adhesion technologies, 2015.



- [47] M. Ritter, Fabrication techniques of stretchable and cloth electroadhesion samples for implementation on devices with space application, 2020.
- [48] «Aerospace Security,» Settembre 2022. [Online]. Available: <https://aerospace.csis.org/data/space-launch-to-low-earth-orbit-how-much-does-it-cost/>.
- [49] «Spacenews,» Marzo 2018. [Online]. Available: <https://spacenews.com/is-the-cost-of-military-space-programs-going-up-or-down-depends-on-how-you-count/>.
- [50] «Doorway,» Febbraio 2022. [Online]. Available: <https://www.doorwayplatform.com/it/magazine/cresce-il-mercato-della-space-economy-investimenti-alle-stelle-nel-2021/>.
- [51] «Il Sole 24ore,» Ottobre 2021. [Online]. Available: <https://www.ilsole24ore.com/art/primo-space-un-anno-raccolta-sale-85-milioni-euro-sei-investimenti-conclusi-AE5t6Kp>.
- [52] «McKinsey,» Gennaio 2022. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-investment-shifts-from-geo-to-leo-and-now-beyond>.
- [53] «SpaceEconomy360,» Giugno 2022. [Online]. Available: <https://www.spaceeconomy360.it/competenze-e-lavoro/logistica-spaziale-mercato-potenziale-da-44-miliardi-di-dollari/>.
- [54] «Astrospace,» Maggio 2021. [Online]. Available: <https://www.astrospace.it/2021/05/13/quale-futuro-per-lin-orbit-servicing-opportunita-e-valutazioni-allalba-di-una-piccola-rivoluzione/>.
- [55] «Wikipedia,» [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Intelsat_29e.
- [56] AON - Space Brokers, «Annual Report,» 2022.
- [57] «Northern Sky Research,» Febbraio 2022. [Online]. Available: <https://www.nsr.com/?research=in-orbit-services-satellite-servicing-adr-and-ssa-5th-edition>.
- [58] «Spacenews,» Settembre 2021. [Online]. Available: <https://spacenews.com/satellite-servicing-companies-see-different-demand-in-leo-versus-geo/>.
- [59] «Northern Sky Research,» Febbraio 2020. [Online]. Available: <https://www.satelliteevolution.com/post/2020/02/11/nsr-report-in-orbit-satellite-services-pave-the-way-to-manage-space-assets>.



- [60] F. A. Sullivan, «Global in-orbit e de-orbit services growth opportunity,» 2022.
- [61] «Market And Research,» Novembre 2020. [Online]. Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-worldwide-in-space-manufacturing-servicing-and-transportation-industry-is-expected-to-grow-at-a-cagr-of-17-26-between-2020-to-2030--301172734.html>.
- [62] «Risk Management 360,» Giugno 2021. [Online]. Available: <https://www.riskmanagement360.it/analisti-ed-esperti/detriti-spaziali-e-gestione-del-rischio-quali-iniziative/>.
- [63] «SwissRE,» Giugno 2018. [Online]. Available: https://www.swissre.com/media/press-release/2018/nr20180717_space_debris_publication.html.
- [64] «ESA,» Maggio 2022. [Online]. Available: https://urlsand.esvalabs.com/?u=https%3A%2F%2Fwww.sdo.esoc.esa.int%2Fenvironment_report%2Fspace_environment_report_latest.pdf&e=96c9a255&h=de84ff23&f=n&p=y.
- [65] «Frost & Sullivan,» Aprile 2022. [Online]. Available: <https://store.frost.com/global-space-debris-removal-growth-opportunities-2022.html>.
- [66] «BIS research,» 2020. [Online]. Available: <https://bisresearch.com/industry-report/active-space-debris-removal-market.html>.
- [67] «CNR,» Settembre 2021. [Online]. Available: https://www.isti.cnr.it/images/pdf/press-release/2021/Focus_Settembre2021.pdf.
- [68] «Drive Tech,» [Online]. Available: <https://drive.tech/en/stream-content/the-docking-system-for-safe-space-rendevous>.
- [69] «Quora,» Ottobre 2015. [Online]. Available: <https://www.quora.com/Why-is-docking-during-space-travel-such-a-difficult-process-if-it-is-something-that-has-to-be-done-frequently>.
- [70] «Wikipedia,» [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Docking_and_berthing_of_spacecraft.
- [71] «Plastix,» Luglio 2021. [Online]. Available: <https://www.plastix.it/stampante-3d-per-produrre-elementi-strutturali-in-orbita/>.
- [72] «RogueSpace,» Giugno 2022. [Online]. Available: <https://rogue.space/news/1167/rogue-space-systems-and-university-of-utah-win-space-force-funding/>.



- [73] «ESA BIC-Turin,» 2022. [Online]. Available: fornisce agli operatori satellitari servizi di estensione della vita e altri servizi in orbita, distribuendo e gestendo una flotta di piccoli veicoli spaziali SPACE DRONE.
- [74] «Astrospace,» Novembre 2022. [Online]. Available: <https://www.astrospace.it/2022/11/10/ecco-come-usare-il-sistema-kurs-per-una-nuova-logistica-spaziale-intervista-a-volodymyr-usov-ceo-di-kurs-orbital/>.
- [75] «Altius Space,» [Online]. Available: <https://altius-space.com/technologies/>.
- [76] «Redwire Space,» [Online]. Available: <https://redwirespace.com/capabilities/?rdws=nnn.xffxcv.tfd&rdwj=57342-394>.
- [77] «D-Orbit,» [Online]. Available: <https://www.dorbit.space/>.
- [78] «AXA XL,» [Online]. Available: <https://axaxl.com/it/insurance/products/space-insurance>.
- [79] «AON ISB,» [Online]. Available: <https://www.aon.com/industry-expertise/space.jsp>.