



Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

*Analisi di Mercato di un Propellente Solido
Fotopolimerizzato: Studio dei Potenziali Mercati e
Implicazioni Tecnologiche*

Relatore:

Federico Caviggioli

Candidato:

Fabiola Farruggio

Anno accademico 2022/2023

INDICE

Sommario

ABSTRACT	1
INTRODUZIONE	2
Capitolo 1	4
CONTESTO E OBIETTIVI	4
Contestualizzazione del tema di ricerca	5
Descrizione della tecnologia di propellente solido	6
Obiettivi della ricerca	9
Capitolo 2	12
TECNOLOGIE DI PROPELLENTI SOLIDI	12
Analisi brevettuale	12
Propellenti solidi tradizionali	23
Descrizione della composizione	29
Descrizione del processo produttivo e sperimentazione	30
Individuazione dei gap	32
Capitolo 3	36
ANALISI DI MERCATO	36
Metodologia di ricerca	36
Analisi dei dati raccolti	37
Analisi di mercato	45
Strumenti di analisi: SWOT – PESTEL	50
Strategie di inserimento	54
Capitolo 4	58
CONCLUSIONI	58

SITOGRAFIA	61
BIBLIOGRAFIA.....	64
RINGRAZIAMENTI	65

ELENCO DELLE FIGURE

Tabella 1. Numero di brevetti per parola chiave e codice IPC

Figura 1. Andamento dei brevetti depositati sulla fotopolimerizzazione

Figura 2. Elenco dei principali detentori di brevetti sulla fotopolimerizzazione

Figura 3. Mappa dei principali paesi in cui sono stati depositati brevetti sui propellenti solidi

Figura 4. Andamento del trend delle tecnologie brevettate sui propellenti solidi

Figura 5. Elenco dei principali detentori di brevetti sulla motori a razzo

Figura 6. Elenco dei principali detentori di brevetti sull'HTPB

Tabella 2. Numero dei lanci orbitali annuali per paese di origine del razzo – Statista

Grafico 1. Andamento dei lanci spaziali negli anni

Tabella 3. Percentuali dei lanci orbitali annuali per paese di origine del razzo

Grafico 2. Percentuale media annua di lanci orbitali

Tabella 4. Tipi di lanciatori analizzati

Tabella 5. Principali aziende aerospaziali

Tabella 6. Mercato della propulsione a razzo, per regione, 2018-2022 (milioni di dollari)

Tabella 7. Quota di mercato della propulsione a razzo, per Paese, 2022 (%)

Tabella 8. Stima delle dimensioni del mercato della propulsione a razzo 2018-2032

Figura 7. Analisi SWOT del propellente solido fotopolimerizzato nel settore aerospaziale

Tabella 9. Analisi PESTEL del propellente *solido fotopolimerizzato nel settore aerospaziale*

*Voglio dedicare questa tesi a tutti i ragazzi
che pensano di non riuscire a raggiungere
la fine del percorso universitario, per
incoraggiarli a non arrendersi.*

ABSTRACT

La crescente ricerca e sviluppo nel campo della propulsione aerospaziale ha portato all'emergere di nuove tecnologie innovative, tra cui quella dei propellenti solidi fotopolimerizzati. Questa tesi si propone di condurre un'analisi approfondita del mercato all'interno del quale si potrebbe inserire questa innovazione, esplorando le sue potenziali applicazioni, l'entità del mercato e le implicazioni tecnologiche.

Il propellente solido fotopolimerizzato rappresenta un'innovazione tecnologica che combina la fotopolimerizzazione con la propulsione solida, introducendo così una soluzione innovativa non ancora presente sul mercato. Verrà esaminata la tecnologia alla base di questo propellente, inclusi i processi di fabbricazione e le caratteristiche chiave, al fine di comprendere appieno il suo potenziale.

L'analisi di mercato si concentrerà sull'identificazione e la valutazione delle possibili applicazioni in settori quali l'aerospaziale, la difesa e l'esplorazione spaziale, ma questa tecnologia potrebbe riguardare anche l'interesse verso ulteriori ambiti come quello degli estintori o degli airbag. Sarà esaminata la domanda attuale e prevista per questa tecnologia, tenendo conto delle esigenze del mercato e delle sfide associate.

Al contempo, questa tesi si propone di esplorare il contesto brevettuale, identificando i principali attori, i brevetti chiave e le dinamiche di brevetti nel settore.

Alla luce di queste analisi, saranno proposte strategie di commercializzazione e potenziali opportunità per l'introduzione di questa tecnologia sul mercato globale. Questa ricerca contribuirà a fornire una panoramica esaustiva delle prospettive e delle sfide legate a un'innovazione promettente nel campo della propulsione aerospaziale.

INTRODUZIONE

La presente tesi si colloca all'interno di un contesto legato all'esplorazione e all'innovazione nell'ambito della tecnologia di propellente solido. La costante ricerca e sviluppo in questo settore non solo agevola l'esplorazione di sistemi propulsivi sempre più innovativi, ma contribuisce anche a conferire dinamicità agli equilibri del mercato. Lo studio condotto nel presente elaborato, avente come oggetto la fotopolimerizzazione quale nuovo processo innovativo per la produzione dei propellenti solidi, esamina attentamente il percorso di introduzione di questa tecnologia innovativa nel mercato di riferimento, partendo dalla fase iniziale di concezione e sperimentazione fino all'effettiva commercializzazione.

L'obiettivo principale di questa tesi è condurre un'analisi approfondita del mercato all'interno del quale potrebbe inserirsi questa nuova tecnologia di propellente solido, esaminando le potenziali applicazioni e le implicazioni tecnologiche. Per raggiungere questo obiettivo, la tesi è strutturata in modo da fornire una panoramica completa e dettagliata degli elementi chiave che circondano questa innovazione.

Verrà fornito inizialmente un contesto generale che delinea il quadro entro cui si colloca il tema trattato nella tesi, mettendo in evidenza le motivazioni che hanno guidato lo sviluppo dell'innovazione tecnologica oggetto di presentazione.

Alla sezione introduttiva seguirà un capitolo dedicato all'analisi brevettuale e alla comparazione tra le tecnologie di propellente solido consolidate, individuate come *dominant design*, e la nuova tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato, inteso come paradigma tecnologico emergente. L'analisi brevettuale fornirà una base per approfondire la comprensione della tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato, protetta da brevetto, evidenziandone i vantaggi e le potenziali contribuzioni che essa possa apportare al panorama di interesse. Questo approccio consente inoltre di individuare figure di rilievo nel settore, mappare le dinamiche competitive e individuare possibili partner collaborativi.

Infine, il fulcro della tesi sarà dedicato all'analisi di mercato nel settore aerospaziale. Questa sezione mira a esplorare gli scenari all'interno dei quali la nuova tecnologia potrebbe radicarsi, tenendo conto delle tendenze di mercato, delle esigenze

dell'industria, e dei fattori economici e regolamentari che ne influenzeranno l'adozione. Varrà inizialmente introdotta la metodologia di raccolta dei dati, che lascerà poi posto all'esposizione dei risultati dell'analisi. Il mercato di riferimento sarà quello aerospaziale europeo.

Al fine di indentificare punti di forza e di debolezza, opportunità e minacce da parte del mercato e per valutare l'impatto della tecnologia esaminata sull'ambiente esterno, sono stati usati strumenti di analisi quali SWOT e PESTEL.

Attraverso questa struttura, la tesi si propone di fornire una chiara visione d'insieme della nuova frontiera rappresentata dai propellenti solidi fotopolimerizzati, dal loro contesto tecnologico e brevettuale fino alle potenziali prospettive di mercato nell'ambito dell'industria aerospaziale.

Capitolo 1

CONTESTO E OBIETTIVI

Il presente capitolo si propone di fornire una presentazione generale dell'argomento trattato nel lavoro di tesi, delineando gli obiettivi e le metodologie utilizzate per la ricerca, al fine di fornire una panoramica chiara e concisa dell'ambito di studio e delle ragioni che hanno guidato lo sviluppo di questa ricerca.

Nella prima parte del presente capitolo verrà fornita un'ampia esposizione dell'ambito in cui si colloca la ricerca, cercando di fornire un contesto del campo di studio di riferimento.

Successivamente, verrà introdotta la tecnologia di propellente solido¹, che rappresenta il fulcro centrale e l'oggetto di studio di questa tesi. Verranno esposte, nel dettaglio, le ragioni principali che hanno guidato lo sviluppo di questa innovazione, le sue applicazioni chiave e il contributo innovativo che ha apportato all'area di ricerca. Inoltre, saranno analizzate le caratteristiche chimiche, fisiche e ingegneristiche che la rendono un elemento fondamentale nell'ambito della propulsione, contribuendo in questo modo a spiegare le basi su cui questa ricerca si fonda.

Infine, l'attenzione verrà posta sugli obiettivi che il presente elaborato intende raggiungere, delineando quali sono gli interrogativi di ricerca principali che saranno affrontati nel corso della trattazione e i risultati attesi. Verrà inoltre discusso il contributo originale che questa ricerca si propone di offrire al campo di studio, sottolineando la sua rilevanza e potenziale impatto.

¹ Il propellente solido è un materiale energetico in grado di autosostenere la combustione anche nel vuoto in quanto contiene all'interno di sé sia combustibile che comburente – Wikipedia 2023.

Contestualizzazione del tema di ricerca

Il tema della ricerca affrontato in questa tesi, si colloca all'interno dello sviluppo tecnologico legato ai "propellenti solidi compositi", che rappresentano una componente fondamentale nei sistemi di propulsione utilizzati in diversi settori, come l'aerospaziale, la difesa e la ricerca scientifica. La loro caratteristica principale è quella di bruciare, una volta accesi/innescati in maniera controllata, per generare la spinta necessaria a far partire un veicolo nello spazio o a far esplodere un airbag durante un impatto.

La ricerca sui propellenti solidi è importante per lo sviluppo e l'avanzamento delle tecnologie di propulsione, poiché mira a migliorare l'efficienza, la sicurezza e le prestazioni di tali sistemi, oltre che il rapporto costo-efficacia, gettando le basi per differenti opportunità commerciali.

Nel suo aspetto generale, la ricerca intende risolvere alcuni punti che possiedono una rilevanza in questo contesto, tra i quali:

- Lo sviluppo di propellenti con una più alta densità energetica, in modo da ottenere una maggiore spinta con una massa ridotta;
- Lo studio di nuove formulazioni chimiche per la riduzione dell'inquinamento ambientale derivante dalla combustione dei propellenti solidi;
- La riduzione dei costi di produzione per mezzo dell'implementazione di nuove tecnologie all'avanguardia.

Lo studio di questa tesi nasce dalla collaborazione tra un gruppo di ricercatori e scienziati altamente qualificati (di seguito anche gruppo di ricerca) del Politecnico di Torino e del Politecnico di Milano che, per mezzo della partecipazione ad un bando di ricerca, ha sviluppato una nuova tecnologia innovativa nel campo dei propellenti solidi compositi, i quali, grazie all'originalità e alla qualità della loro invenzione, si sono classificati come vincitori del concorso, riuscendo ad ottenere i fondi necessari per portare avanti le attività di ricerca e sviluppo.

I risultati ottenuti dal gruppo sono stati consolidati per mezzo della brevettazione della tecnologia sviluppata, depositando un apposito brevetto dal titolo "Fotopolimerizzazione per produzione additiva di propellenti solidi compositi". L'obiettivo della brevettazione è quello di tutelare l'invenzione e la proprietà intellettuale, concedendo i diritti esclusivi e impedendo ad altri di utilizzare o

commercializzare la medesima tecnologia. Il brevetto conferisce, inoltre, valore all'innovazione e la possibilità di esplorare nuove opportunità di commercializzazione, come ad esempio la concessione in licenza a terze parti.

Il contenuto del brevetto concerne la fotopolimerizzazione per produzione additiva, ovvero il processo di creazione di un prodotto per mezzo dell'indurimento dello stesso tramite luce a LED.

Il processo di creazione, quindi, prevede che, durante la deposizione strato dopo strato, utilizzando le tecniche dell'Additive Manufacturing², il materiale, nel caso specifico il propellente solido, che si presenta come una miscela omogenea e viscosa, venga colpito da raggi UV, solidificandosi.

I risultati ottenuti dal gruppo di ricerca hanno dimostrato un notevole potenziale, tanto da spingere il team a proiettarsi verso una fase successiva, ovvero quella dell'analisi di mercato, sfruttando l'opportunità fornita dal bando, per comprendere il contesto commerciale e le strategie per poter introdurre l'innovazione sul mercato.

Il presente elaborato mira allo studio del mercato, analizzandone:

- ✓ I principali attori attivi;
- ✓ Potenziali acquirenti e concorrenti;
- ✓ Il target di clientela;
- ✓ Posizionamento della tecnologia;
- ✓ Vantaggi competitivi;
- ✓ Strategie di inserimento;
- ✓ Market share;

L'analisi di mercato offre nuove prospettive di sviluppo e opportunità per l'applicazione pratica dell'invenzione, contribuendo alla sua valorizzazione economica e all'impulso dell'innovazione nel settore di riferimento.

Descrizione della tecnologia di propellente solido

Tra i propellenti solidi di maggiore utilizzo, i propellenti solidi compositi sono quelli ritenuti più rilevanti. Si originano dallo sviluppo di una formulazione di leganti

² La produzione additiva (in inglese: Additive Manufacturing, o AM) è un processo industriale impiegato per fabbricare oggetti partendo da modelli 3D computerizzati, aggiungendo uno strato sopra l'altro.

polimerici che incorporano particelle di ossidante³. I propellenti solidi composti rappresentano una classe di materiali propellenti ampiamente utilizzati nell'ambito delle tecnologie di propulsione. Sono costituiti da una miscela di componenti chiave, tra cui un *combustibile solido*, un *ossidante* e un *legante*, o più in generale degli *additivi*, che agiscono sinergicamente durante la combustione per generare spinta. I combustibili solidi rappresentano la sostanza chimica che, a contatto con un ossidante, genera gas caldo che a sua volta produce la spinta necessaria ad attivare il sistema. Tra quelli maggiormente utilizzati ricordiamo: il carburante di alluminio, il polivinilcloruro (PVC) e il polistirolo.

Gli ossidanti costituiscono i composti chimici che forniscono ossigeno necessario a generare la reazione con il combustibile. Tra i principali impiegati per la produzione di propellenti solidi in ambito aerospaziale troviamo:

- Ammonio perclorato (AP: NH_4ClO_4)
- Ammonio nitrato (AP: NH_4NO_3)
- Nitrammine.

Infine, il legante è la sostanza necessaria a tenere insieme fra loro il combustibile e l'ossidante. Spesso il legante è una resia sintetica che fornisce coesione e stabilità strutturale. Tra i principali possiamo citare:

- il polibutadiene acrilonitrile (PBAN),
- il polibutadiene carbossi-terminato (CTPB),
- il polibutadiene idrossi-terminato o a terminazione ossidrilica (HTPB).

La combustione avviene in modo controllato e progressivo, poiché il propellente solido è inizialmente in uno stato solido e si decompone gradualmente sotto l'effetto del calore generato dalla reazione chimica. La composizione specifica dei propellenti solidi composti può variare notevolmente in base alle esigenze dell'applicazione, consentendo la regolazione delle prestazioni e delle caratteristiche di combustione.

L'innovazione nell'ambito dei propellenti è in continua evoluzione ed ha portato all'esplorazione di numerose alternative grazie ai continui studi in ricerca e sviluppo.

Nel contesto delle numerose innovazioni tecnologiche in questo settore, il presente elaborato si concentrerà sulla trattazione e sull'analisi della tecnologia di *propellente solido composito fotopolimerizzato*. La particolarità di questa nuova tecnologia risiede

³ I polimeri sono grandi molecole costituite da una catena di unità chimiche ripetitive, chiamate monomeri, che reagendo insieme agli ossidanti, sostanze chimiche che forniscono l'ossigeno, generano la combustione

nell'utilizzo della fotopolimerizzazione, come tecnica di indurimento, per trasformare il materiale da uno stato liquido o viscoso a uno solido. La tecnica viene applicata direttamente al propellente, permettendo la creazione di geometrie complesse, senza la necessità di dover ricorrere all'impiego di appositi stampi, aprendo le strade a numerose applicazioni.

Lo stato dell'arte, che si è attualmente consolidato per la produzione di grani di propellente solido composito, consiste nel processo di polimerizzazione mista-colata⁴ attraverso l'uso di sostanze chimiche nocive e di stampi specifici, generati appositamente per la formazione del propellente. La creazione delle geometrie del grano, avviene per mezzo di processi di estrusione, pressatura o solidificazione del materiale in un apposito stampo precedentemente generato. Questi vincoli costruttivi limitano la creazione di differenti geometrie del propellente, relegando la costruzione dei motori a razzo a delle configurazioni stabilite.

Questi limiti cercano di essere superati grazie all'invenzione oggetto del presente elaborato, che viene descritto dagli stessi inventori all'interno del loro articolo (in seguito anche l'Articolo Scientifico) come:

“un processo di produzione additiva per la produzione di granuli propellenti basato sulla polimerizzazione UV. Questa tecnica consente geometrie dei grani più complesse, aprendo la strada a nuove missioni propulsive, grazie a profili personalizzati del tempo di spinta o alla messa a punto della composizione locale”⁵.

L'innovazione di questo nuovo metodo risiede nell'utilizzo alternativo dei pre-polimeri, utilizzando componenti sensibili ai raggi UV, per via della loro minore pericolosità chimica, al posto degli isocianati⁶.

L'articolo fornisce i risultati delle sperimentazioni condotte durante la fase iniziale di prove di simulazione su campioni di propellente inerte, creati come proof of concept in scala di laboratorio.

⁴ È un processo che viene utilizzato principalmente per la generazione dei propellenti solidi composti, in cui il legante è costituito da un polimero, che polimerizza, ovvero che forma legami chimici tra le sue unità monomeriche, contribuendo così a solidificare la struttura durante la formazione del propellente stesso.

⁵ Simone Garino, Paola Antonaci, Dario Pastrone, Marco Sangermano, Filippo Maggi, “Photo-polymerization for additive manufacturing of composite solid propellants”, in Acta Astronautica Volume 182, May 2021, Pages 58-65.

⁶ Sono utilizzati come reagenti per formare legami uretanici e polimerizzare, cioè indurire, il materiale, ma sono altamente tossici.

L'attività di test ha permesso di focalizzare l'attenzione sulle caratteristiche dei leganti. Sono stati presi in considerazione sia leganti polibutadiene a terminazione ossidrilica (HTPB) che polibutadiene diacrilato (PBDDA), utilizzando solfato di ammonio come ossidante in sostituzione al perclorato di ammonio. Le analisi effettuate hanno evidenziato risultati simili per entrambi i nuovi materiali sottoposti a polimerizzazione UV, confermando la possibilità di creare tipologie di propellenti basati su un processo privo di isocianati⁷.

Lo studio si presta, quindi, a dimostrare la fattibilità dell'applicazione della fotopolimerizzazione quale metodologia per la produzione di propellenti solidi grazie all'impiego di leganti come il polibutadiene a terminazione ossidrilica (HTPB) e il polibutadiene diacrilato (PBDDA), in sostituzione agli isocianati, fornendo al materiale delle caratteristiche fisiche e meccaniche adeguate.

Inoltre, il metodo consente la riduzione dei costi di produzione per mezzo dell'eliminazione di appositi mandrini o stampi, impiegati per conferire la forma al materiale.

Nel proseguo del presente elaborato, verranno maggiormente dettagliate le caratteristiche ottenute dai test della sperimentazione, evidenziandone i principi chiave, le potenziali applicazioni e le implicazioni per il campo della propulsione aerospaziale.

Obiettivi della ricerca

La presente ricerca si prefigge di raggiungere diversi obiettivi sul tema dei propellenti solidi che rivestono un ruolo importante nell'avanzamento della conoscenza e dell'applicazione della tecnologia discussa. Uno degli obiettivi principali è approfondire la conoscenza delle caratteristiche chimiche e fisiche dei propellenti solidi, analizzando le loro proprietà di combustione, l'efficienza energetica e la sicurezza. Un ulteriore obiettivo è quello di illustrare i principali vantaggi della nuova tecnologia, rispetto a quelle esistenti, illustrando come la ricerca mira a migliorare le prestazioni, attraverso la riduzione della massa dei propellenti e l'aumento della densità energetica, riuscendo quindi a generare maggiore gas di spinta, con quantitativi minori.

⁷ Simone Garino, Paola Antonaci, Dario Pastrone, Marco Sangermano, Filippo Maggi, "Photo-polymerization for additive manufacturing of composite solid propellants", in Acta Astronautica Volume 182, May 2021, Pages 58-65.

Allo stesso tempo, essa mira a generare una soluzione innovativa per ridurre l'impatto ambientale della combustione dei propellenti solidi.

Un ulteriore obiettivo è quello di combinare la ricerca di mercato con la ricerca brevettuale, per ricavare informazioni significative sul panorama competitivo, sulle tendenze del mercato e sulle opportunità di business associate alla tecnologia. Infatti, le ricerche effettuate per la stesura del presente elaborato sono state condotte adottando un approccio basato sull'analisi, in parallelo, di due aspetti differenti: il primo riguardante l'analisi approfondita dei brevetti inerenti al contesto di studio, esaminando le soluzioni tecnologiche presenti al momento in questo settore, mentre il secondo si è basato sull'analisi dei mercati verso i quali verte l'interesse della commercializzazione della tecnologia oggetto dell'analisi.

Questa doppia metodologia è stata adottata per permettere di acquisire una visione completa e interconnessa dell'argomento in studio, fornendo uno scenario che integra l'aspetto tecnologico e quello commerciale, fondamentale per una comprensione bilanciata e approfondita dei temi trattati.

La metodologia di ricerca impostata secondo questo approccio è stata motivata dalle ragioni di seguito riportate:

- Chiara comprensione del settore: tanto l'analisi brevettuale quanto lo studio del mercato sono necessarie per la comprensione delle tendenze tecnologiche, delle innovazioni sviluppate, del panorama competitivo, che comprende le dinamiche evolutive sulla base di quelle che sono le richieste del mercato, e delle opportunità di mercato.
- Individuazione di nuove opportunità innovative: l'analisi brevettuale consente di individuare le aree all'interno delle quali sono state sviluppate le principali tecnologie esistenti ed intercettare le lacune e i possibili miglioramenti da apportare all'innovazione, per poter rispondere alle esigenze del mercato.
- Rilevamento della competitività sul mercato: grazie allo studio del mercato e delle invenzioni tecnologiche brevettate, è possibile risalire alle aziende che investono in ricerca e sviluppo in uno specifico settore, consentendo di sfruttare i principi dell'intelligenza competitiva per trarre informazioni utili circa il comportamento della concorrenza sul mercato al fine di formulare delle strategie competitive che si rivelino efficaci.

- Identificazione di nuove opportunità dal mercato: lo studio del mercato è fondamentale per poter identificare nuove opportunità e definire strategie di introduzione nel medesimo, grazie ad informazioni utili quali ad esempio i bisogni dei clienti, le tendenze di consumo, le dinamiche di domanda e offerta e le dimensioni.
- Riduzione dei rischi associati all'allocazione di risorse e investimenti in ricerca e sviluppo di innovazioni tecnologiche prive di potenziale commerciale, grazie all'analisi combinata dei brevetti e delle informazioni di mercato.
- Ottimizzazione delle decisioni di ricerca e sviluppo: se l'analisi brevettuale, unita all'analisi di mercato, aiuta a ridurre i rischi di investimento in tecnologie prive di potenziale commerciale, dall'altro permette di individuare quali siano i limiti delle invenzioni esistenti in modo da potersi focalizzare su innovazioni significative piuttosto che reinventarne di nuove.

In sintesi, questa doppia metodologia di ricerca ha permesso di valutare, tanto l'aspetto legato all'analisi dello sviluppo tecnologico, quanto all'analisi del settore, permettendo di identificare nuove opportunità, prendere decisioni in relazione all'andamento del mercato e valutare strategie di ottimizzazione.

Di seguito vengono introdotte le scelte adottate e i parametri utilizzati per l'applicazione di tali metodologie, che verranno più avanti dettagliate nel resto della trattazione.

Capitolo 2

TECNOLOGIE DI PROPELLENTI SOLIDI

Nel capitolo precedente sono stati esaminati il contesto generale e le sfide della propulsione spaziale. Questo capitolo sarà intento ad analizzare le tecnologie attinenti al tema di ricerca, con particolare attenzione rivolta verso le soluzioni di propellente solido tradizionale attualmente esistenti e all'innovazione di propellente solido fotopolimerizzato. Verranno esaminate le caratteristiche di ciascuna delle due categorie di invenzione, evidenziandone sia i vantaggi che i limiti.

Verrà inizialmente descritta la metodologia utilizzata per l'analisi brevettuale, al fine di illustrare i passaggi e gli strumenti impiegati per la raccolta dei dati, per la conduzione dell'analisi e per la descrizione delle motivazioni che hanno incluso tale analisi all'interno della ricerca. La descrizione della metodologia fornirà una chiara comprensione del quadro di lavoro adottato e delle scelte operative effettuate durante il percorso di ricerca.

Successivamente verranno introdotte le tecnologie di propellente solido attualmente consolidate, per poter individuare le caratteristiche delle invenzioni oggi in uso e poter identificare tanto i benefici che il loro utilizzo apporta, quanto i limiti che posseggono. Questo aspetto sarà rilevante per indirizzare il proseguo della trattazione verso l'analisi della tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato ed individuarne i principali vantaggi e i gap tecnologici che le invenzioni ormai affermate presentano rispetto ad essa, di fondamentale importanza per valutare l'adozione futura e le possibili applicazioni.

Analisi brevettuale

Metodologia

L'analisi brevettuale si propone di fornire una panoramica generale, circa il contesto di studio, attraverso un landscape basato sull'analisi di dati brevettuali aggregati.

Nello specifico essa identifica i trend significativi, gli aspetti geografici, gli attori chiave e le caratteristiche principali delle invenzioni brevettate in diversi ambiti, come l'aerospaziale, l'additive manufacturing, i sistemi di propulsione e così via.

Il landscape è stato strutturato per fornire una visione chiara e completa dei dati aggregati e poter individuare i vantaggi e i gap tecnologici delle invenzioni sviluppate rispetto alla tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato. L'obiettivo principale è presentare in modo chiaro e conciso il processo di analisi dei dati aggregati, fornendo una base solida e accurata per poter individuare i principali attori attivi nell'ambito ed instaurare possibili partnership, finalizzate alla messa in commercio del propellente solido fotopolimerizzato, in collaborazione con tali soggetti.

La metodologia utilizzata per raccogliere e aggregare i dati è stata basata sull'incrocio di key words appositamente identificate e i principali codici IPC⁸ correlati all'area di ricerca. La query di estrazione utilizzata per la selezione dei records presenta la seguente sintassi: “*TAB=(keyword) and IC=(codice IPC)*”.

La funzione TAB permette di ricercare la parola chiave nel titolo o nell'abstract del brevetto, mentre la funzione IC ricerca i codici IPC relativi allo specifico brevetto. I records estratti sono stati ulteriormente filtrati per anno di pubblicazione, scegliendo come periodo di riferimento il triennio 2021-2023, al fine di individuare i brevetti di più recente invenzione, in linea con le innovazioni tecnologiche attualmente sviluppate. Nello specifico le key words selezionate, in linea con la trattazione, sono di seguito elencate:

1. Photopolymerization;
2. Solid propellant;
3. Rocket motor;
4. HTPB.

Le parole-chiave, appositamente selezionate, sono state riprese dall'articolo scientifico redatto dal gruppo di ricerca e permettono di identificare, comprendere e categorizzare il contenuto dell'analisi brevettuale.

⁸ La classificazione internazionale dei brevetti *IPC (International Patent Classification)* rappresenta il sistema più utilizzato a livello internazionale per i brevetti e i modelli d'utilità. Istituita a seguito dell'Accordo di Strasburgo del 1971, è strutturata in modo gerarchico e suddivide le tecnologie brevettabili in otto sezioni (A - H), a loro volta distribuite in livelli sempre più dettagliati (sottosezioni, classi, sottoclassi, gruppi e sottogruppi). La IPC non viene utilizzata solo per classificare e ricercare brevetti, ma anche pubblicazioni, articoli scientifici e testi tecnici in generale, al fine di valutare lo stato della tecnica in un particolare settore.

Queste ultime sono state selezionate sulla base della pertinenza tematica, poiché direttamente rilevanti per lo scopo dell'analisi, per dirigere verso le aree di principale focus e per fornire una rappresentazione chiara dell'argomento.

La parola chiave “photopolymerization” è stata oggetto di selezione poiché direttamente correlata al processo di creazione e di funzionamento dell'innovazione oggetto del brevetto. All'interno dell'analisi brevettuale si colloca per permettere di individuare quelle tecnologie che hanno implementato la fotopolimerizzazione come processo di formazione di materiali e comprendere verso quale settore esse sono orientate. Lo stesso vale per la parola “solid propellant”, inclusa per permettere di individuare quelle tecnologie di motore a razzo, che rappresentano un complemento fondamentale alla tecnologia dei propellenti solidi. Questa selezione mira a fornire una visione più completa, esplorando come i propellenti solidi vengono utilizzati in sistemi di propulsione a razzo. Infine, la parola “HTBP” mira ad individuare le invenzioni che hanno incorporato il polibutadiene a terminazione ossidrilica come componente essenziale nella loro formulazione chimica, agendo in qualità di resina legante.

Parallelamente, i principali codici IPC inerenti all'argomento sono stati utilizzati per affinare ulteriormente la selezione, concentrandosi su categorie di brevetti che sono direttamente rilevanti e strettamente correlati all'area di ricerca.

Nello specifico sono state selezionate le seguenti macro categorie di codici IPC:

- 1 **B29C64**: questo codice IPC è associato alle “Macchine o dispositivi per stampa in 3D”. Copre l'invenzione, la produzione e l'uso di macchine, dispositivi e processi relativi alla stampa in 3D e può includere brevetti relativi a una vasta gamma di aspetti correlati, come la progettazione di macchine per la stampa 3D, nuovi materiali e applicazioni specifiche che coinvolgono questa tecnologia.
- 2 **B33Y70**: questo codice IPC è associato alla “Stampa 3D di oggetti a partire da dati elettronici tridimensionali”, come file CAD (Computer-aided Design) o altri formati digitali. Questa categoria è più specifica della precedente e si concentra sulla tecnologia e sui processi legati alla trasformazione di dati digitali in oggetti fisici mediante la stampa 3D.
- 3 **C06B**: questo codice IPC è associato al campo della chimica dei propellenti. Copre l'invenzione, la produzione e l'uso di esplosivi, compresi i propellenti, gli ordigni

esplosivi e i materiali correlati, rientrano in questa categoria. La classificazione C06B è utile per organizzare brevetti relativi a materiali, tra cui proiettili, razzi, petardi e altro, e alle loro applicazioni.

- 4 **C06D05**: questo codice IPC riguarda la chimica dei reattori⁹ per processi chimici o fisici in generale, ma con particolare enfasi sui reattori per la produzione di gas sotto pressione. Questo potrebbe includere dispositivi e processi utilizzati nella produzione di gas, compresi i propellenti, ad esempio, per motori a razzo o altri sistemi di propulsione che coinvolgono la generazione e l'espulsione di gas sotto pressione.
- 5 **F02K09**: questo codice IPC è associato alla “Propulsione di velivoli con motori a reazione”. In particolare, è utilizzato per classificare e categorizzare i brevetti relativi a specifiche categorie di macchine o motori. Questa categoria comprende brevetti che riguardano il design, la costruzione e l'uso di motori a reazione utilizzati per la propulsione di velivoli, come aerei e jet.

Dall’incrocio di ogni key word con ciascun codice IPC è stato estratto il seguente numero di records, appositamente filtrato per anno di pubblicazione:

		CODICI IPC				
		B29C64	B33Y70	C06B	C06D05	F02K09
K E Y	Photopolymerization	465	471	1	1	-
	Solid propellant	35	29	1676	835	1904
	Rocket motor	7	6	411	193	2885
	HTPB	-	2	135	60	45
W		PUBLICATION DATES 2021-2023				
O	Photopolymerization	249	233	-	-	-
R	Solid propellant	12	12	272	154	186
D	Rocket motor	1	1	15	9	116
S	HTPB	-	2	29	9	6

Tabella 1. Numero di brevetti per parola chiave e codice IPC

⁹ Un reattore è un dispositivo o un sistema utilizzato per controllare una reazione chimica o fisica. Queste reazioni possono essere finalizzate a una vasta gamma di scopi, tra cui la produzione di sostanze chimiche, la generazione di energia, la purificazione di materiali e molto altro.

Per ciascun gruppo di key words sono state condotte delle analisi circa i trend significativi, i principali attori attivi, le aree geografiche maggiormente coinvolte e i principali ambiti a cui sono dedicate le categorie di brevetti.

Analisi

Di seguito verranno analizzati i risultati prodotti dall'incrocio di ciascuna parola chiave con i codici IPC selezionati.

Photopolymerization

Per la parola chiave “photopolymerization” è stato possibile individuare:

- 465 brevetti correlati al codice IPC B29C64, di cui 249 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 471 brevetti correlati al codice IPC B33Y70, di cui 233 pubblicati tra il 2021 e 2023;

Non sono emersi risultati rilevanti dall'incrocio con i codici C06B, C06D05, F02K09.

La mancanza di corrispondenza può essere spiegata dalla mancanza di sviluppo di tecnologie che utilizzano la fotopolimerizzazione per generare gas sotto pressione, applicabile alla creazione di cartucce esplosive, razzi, impianti con motori a razzo e così via.

Dai dati raccolti emerge che gli Stati Uniti sono il principale Paese in cui viene sviluppata la maggior parte dei brevetti nell'ambito della fotopolimerizzazione, seguito dal Giappone, e riguardano prevalentemente invenzioni in ambito di stampa 3D, additive manufacturing, creazione di fibre e resine, generazione di polimeri ecc.

Tra i principali attori in questo settore spiccano l'azienda Kuraray Noritake Dental Inc., produttrice giapponese di prodotti chimici, fibre e altri materiali, che possiede il maggior numero di brevetti depositati e l'azienda giapponese Nagase Chemtex Corporation produttrice di tecnologie relative alla sintesi chimica, alla progettazione di composti e alla biotecnologia. I campi in cui vengono applicati i suoi prodotti coprono una vasta gamma che comprende la chimica, l'elettronica, l'automotive e l'aeronautica, nonché i prodotti alimentari.

E' interessante notare che il trend di pubblicazione dei brevetti in questo settore mostra una diminuzione dal 2021 fino ad oggi. Ciò potrebbe suggerire una variazione nell'attività di ricerca e sviluppo o nei livelli di innovazione nel campo della fotopolimerizzazione.

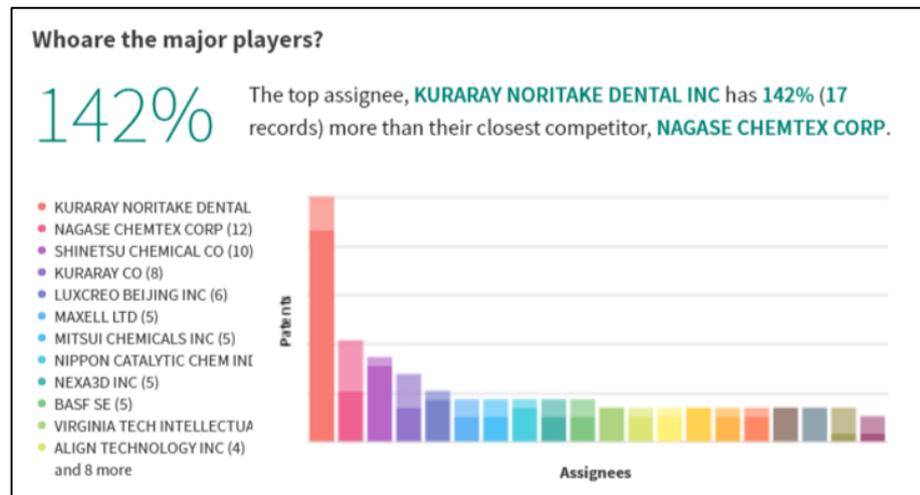


Figura 1. Andamento dei brevetti depositati sulla fotopolimerizzazione

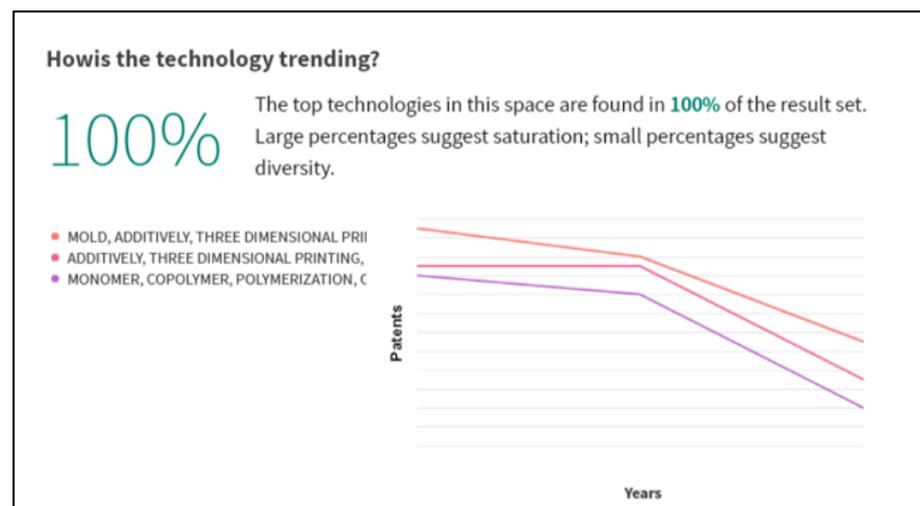


Figura 2. Elenco dei principali detentori di brevetti sulla fotopolimerizzazione

Solid propellant

Per la parola chiave “solid propellant” è stato possibile individuare:

- 35 brevetti correlati al codice IPC B29C64, di cui 12 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 29 brevetti correlati al codice IPC B33Y70, di cui 12 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 1676 brevetti correlati al codice IPC C06B, di cui 272 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 835 brevetti correlati al codice IPC C06D05, di cui 154 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 1904 brevetti correlati al codice IPC F02K09, di cui 186 pubblicati tra il 2021 e 2023;

In merito allo sviluppo brevettuale nell'ambito dei propellenti solidi, la Cina spicca come Paese con il maggior numero di brevetti pubblicati.

Emerge immediatamente che l'innovazione tecnologica nel campo dei propellenti solidi, generati per mezzo di tecniche relative all'additive manufacturing, come ad esempio la stampa 3D (codici IPC B29C64 e B33Y70), non risulta essere particolarmente sviluppata. La motivazione principale risiede nel fatto che le caratteristiche specifiche dei propellenti solidi, ovvero elevate temperature e pressioni di combustione, comportano la necessità di utilizzare materiali di stampa 3D che possano resistere a temperature elevate senza degradarsi o perdere le loro proprietà strutturali. La maggior parte delle stampanti 3D utilizza materiali plastici o polimeri, che potrebbero non essere adatti a sopportare le temperature di combustione dei propellenti solidi.

Nonostante le diverse sfide, le attività di ricerca e sviluppo proseguono in tal senso, vedendo come principali attori attivi in questo ambito, per numero di brevetti depositati: l'Università di Princeton nel New Jersey, un'università privata tra le più famose negli Stati Uniti per la ricerca, facente parte della Ivy League¹⁰ e la Xi'an Jiaotong University tra le più prestigiose università della Repubblica Popolare Cinese, appartenente alla Lega C9¹¹.

¹⁰ La Ivy League è una conferenza sportiva della NCAA (National Collegiate Athletic Association) costituita da otto prestigiose università private degli Stati Uniti d'America nordorientali. Le università della Ivy League vengono annoverate tra le più prestigiose a livello mondiale, infatti raggiungono spesso i primi posti delle classifiche dei migliori college al mondo.

¹¹ La Lega C9 è un'associazione delle nove più prestigiose università cinesi.



Figura 3. Mappa dei principali paesi in cui sono stati depositati brevetti sui propellenti solidi

Per le tecnologie appartenenti, invece, alle categorie di chimica dei propellenti e dei reattori per la produzione di gas sotto pressione (codici IPC C06B e C06D05), il numero di brevetti aumenta notevolmente e vede come principali attori coinvolti l'Hubei Aerospace Chemical Technology Research Institute¹², principalmente impegnato in generatori di gas per airbag automobilistici, produzione e vendita di tre principali categorie di apparecchiature per l'automazione, prodotti relativi al settore aerospaziale, navi, automobili e altri settori e il Xi'an Modern Chemistry Research Institute, il più grande centro di ricerca cinese di materiali chimici energetici, principalmente impegnato nella ricerca e nello sviluppo di chimica organica, chimica applicata, materiali polimerici, chimica fine, dispositivi elettronici e tecnologie di analisi e test. Infine, per il codice IPC F02K09 relativo a impianti di propulsione di jet, impianti di motori a razzo e controllo degli stessi, i principali attori attivi sono ArianeGroup, una joint venture europea con tre settori di interesse: aerospazio (sistemi di propulsione orbitale ed equipaggiamento), difesa e sicurezza e Hybrid Propulsion for Space, un'azienda francese specializzata nel campo dell'astronautica, il cui obiettivo è

¹² E' un istituto di ricerca situato nella provincia di Hubei, in Cina. Esso è coinvolto nella ricerca e nello sviluppo di tecnologie chimiche e di materiali con applicazioni specifiche nel settore aerospaziale.

sviluppare un metodo di propulsione (motore a razzo ibrido) in grado di facilitare l'accesso allo spazio.

Come è possibile notare dai grafici il trend di pubblicazione dei brevetti in questo settore mostra una situazione di stallo, se non di diminuzione, dal 2021 fino ad oggi per quanto riguarda i brevetti relativi ai propellenti solidi creati da un processo di additive manufacturing.

Per le tecnologie appartenenti alle classi di esplosivi, materiali energetici, propellenti, razzi e airbag, il trend risulta essere crescente, successivamente ad una fase di declino nel 2022.

Infine, per le tecnologie inerenti la propulsione di jet e motori a razzo, esse hanno raggiunto il picco nel 2022 e successivamente hanno registrato una tendenza al ribasso di una media di 13 record all'anno. Il 2022 rappresenta l'anno con la maggiore diversità tecnologica con oltre il 77% di tutte le tecnologie rappresentate.

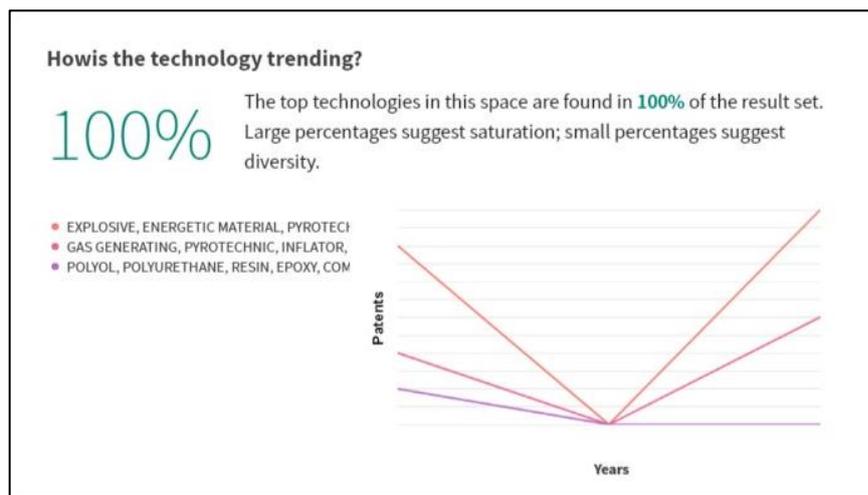


Figura 4. Andamento del trend delle tecnologie brevettate sui propellenti solidi

Rocket motor

Per la parola chiave “Rocket motor” è stato possibile individuare:

- 7 brevetti correlati al codice IPC B29C64, di cui 1 pubblicato tra il 2021 e 2023;
- 6 brevetti correlati al codice IPC B33Y70, di cui 1 pubblicati tra il 2021 e 2023;

- 411 brevetti correlati al codice IPC C06B, di cui 15 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 193 brevetti correlati al codice IPC C06D05, di cui 9 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 2885 brevetti correlati al codice IPC F02K09, di cui 116 pubblicati tra il 2021 e 2023;

Lo sviluppo tecnologico nell'ambito dell'additive manufacturing applicato alla produzione di motori a razzo non ha raggiunto un livello rilevante di successo nel corso degli anni, come evidenziato dalla quantità limitata di brevetti pubblicati in questo settore. Ciò potrebbe essere principalmente attribuibile a diversi fattori, come la complessità dei materiali richiesti, difficili da applicare all'AM, la necessità di garantire degli standard rigorosi di qualità e sicurezza, le dimensioni non indifferenti e i costi elevati.

Nonostante le diverse limitazioni, la ricerca e lo sviluppo in questo ambito non sono completamente ferme, infatti Raytheon Technologies Corporation (RTX) multinazionale statunitense, è attiva nella ricerca, sviluppo e produzione di prodotti ad elevata innovazione tecnologica nell'ambito di aerospazio e difesa, unico player ad aver pubblicato un brevetto negli ultimi tre anni. Per gli stessi motivi sopra citati non è possibile definire un trend sull'andamento dei brevetti in questo settore.

Per le tecnologie appartenenti alle classi di chimica dei propellenti e dei reattori per la produzione di gas sotto pressione (codici IPC C06B – C06D05), predominano gli Stati Uniti come principale paese per numero di brevetti pubblicati, con players quali Terves LLC, azienda leader in termini di tecnologia e costi nello sviluppo, produzione e vendita di materiali di risposta ingegnerizzata per l'industria petrolifera e del gas e Aerojet Rocketdyne costruttore statunitense di motori a razzo e sistemi di propulsione missilistici. L'andamento delle pubblicazioni brevettuali in questo caso è decrescente, con un picco nel 2022.

In conclusione per il codice IPC F02K09 relativo a impianti di propulsione di jet, impianti di motori a razzo, controllo degli stessi, il numero di brevetti pubblicato negli ultimi tre anni risulta più consistente, con ancora gli Stati Uniti come principale paese per numero di pubblicazioni.

I players attivi in questo ambito sono Raytheon Technologies Corporation (RTX) multinazionale statunitense precedentemente citata, e Goodrich Corporation, attiva nell'industria aerospaziale e chimica, facente parte di UTC Aerospace Systems. Il trend di numero di pubblicazioni in questo caso è sempre in crescita.

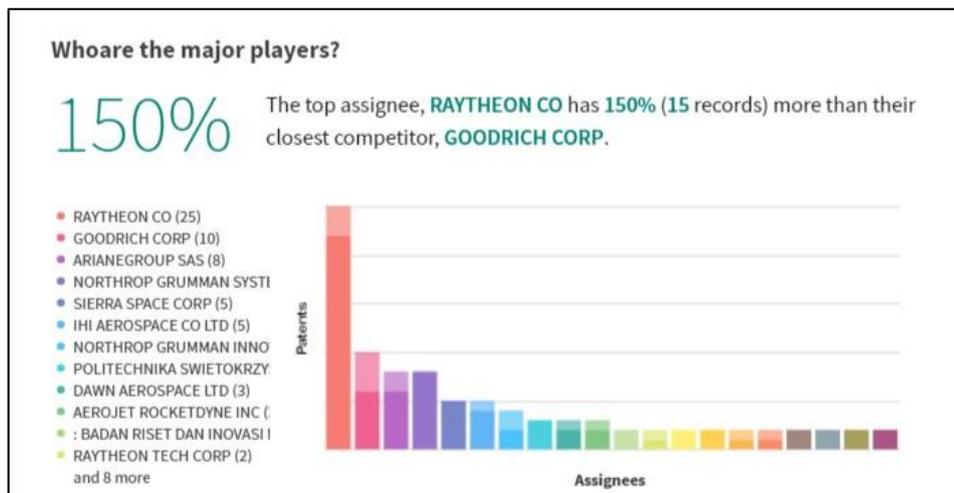


Figura 5. Elenco dei principali detentori di brevetti sulla motori a razzo

HTPB

Per la parola chiave “HTPB” è stato possibile individuare:

- 2 brevetti correlati al codice IPC B33Y70, di cui 2 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 135 brevetti correlati al codice IPC C06B, di cui 29 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 60 brevetti correlati al codice IPC C06D05, di cui 9 pubblicati tra il 2021 e 2023;
- 45 brevetti correlati al codice IPC F02K09, di cui 6 pubblicati tra il 2021 e 2023;

L’HTPB, ovvero il polibutadiene con radicali ossidrilici terminali, non è facilmente applicabile all’ambito dell’additive manufacturing, infatti non sono presenti brevetti associati alla specifica categoria nel campo di macchine, dispositivi e processi relativi alla stampa in 3D (codice IPC B29C64). L’unico brevetto individuato in questo ambito riguarda una composizione oligomerica fotoinduribile per la stampa 3D e un materiale fotoinduribile per la stampa 3D comprendente la stessa, sviluppato da Hyundai Motor in collaborazione con KIA Corporation, aziende coreane del settore automobilistico. Per le invenzioni associate al campo della chimica dei propellenti e dei reattori per la produzione di gas sotto pressione (codici IPC C06B e C06D05), l’HTPB ha dimostrato una crescente rilevanza grazie al suo utilizzato come legante nella produzione di propellenti solidi per razzi, per la sua elevata resistenza termica e chimica, al contributo

nell'ottimizzazione delle prestazioni e della sicurezza in applicazioni critiche come motori a razzo e reattori chimici avanzati.

Il principale paese attivo in questo ambito è la Cina, con Hubei Aerospace Chemical Technology Research Institute come attore con il maggior numero di invenzioni sviluppate nel periodo esaminato.

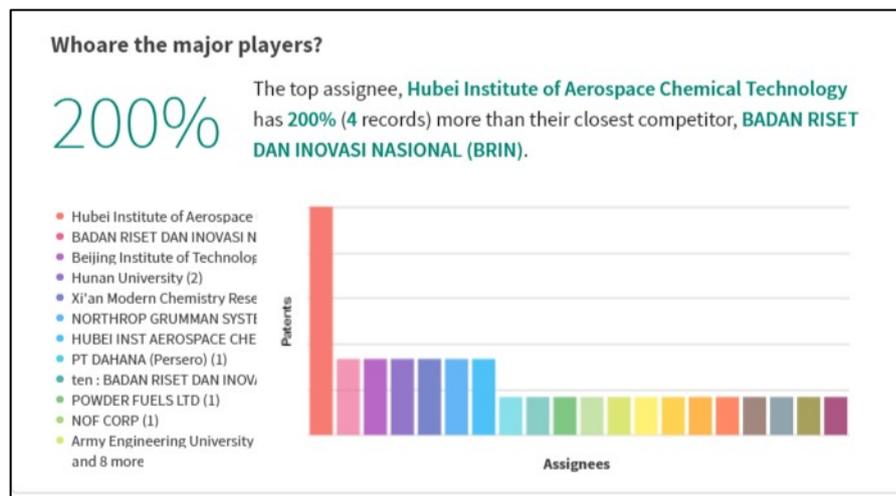


Figura 6. Elenco dei principali detentori di brevetti sull'HTPB

Per ciò che riguarda l'utilizzo del polibutadiene con radicali ossidrilici terminali nell'ambito della propulsione di velivoli con motori a reazione (codice IPC F02K09), esso non è ancora ampiamente impiegato, ma potrebbe rappresentare una componente chiave in molti motori a reazione come individuato dagli attori detentori di brevetti in questo ambito: Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), un'agenzia governativa non ministeriale indonesiana attiva nel campo della ricerca e della tecnologia, l'azienda NOF Corporation, produttrice chimica giapponese e l'azienda Aerojet Rocketdyne costruttrice statunitense di motori a razzo e sistemi di propulsione missilistici, tra i principali players attivi in questo settore.

Propellenti solidi tradizionali

Come evidenziato nell'analisi precedente, la tecnologia di propellente solido viene raramente associata ad un processo di additive manufacturing. Questo perché, come visto precedentemente, i materiali impiegati devono mantenere le proprietà strutturali

anche in condizioni di elevate temperature e pressioni, il che rende l'impiego di tecniche come la stampa 3D inadatte al tipo di prodotto.

Uno studio ha dimostrato come l'impiego dell'additive manufacturing, quale tecnica per la produzione dei propellenti solidi, si sia rivelato un metodo fallimentare (questa tesi verrà smentita nel seguito della trattazione).

Secondo questo studio risulta possibile la deposizione additiva del componente ossidante, costituito ad esempio da perclorato di ammonio, mentre componenti come i leganti, nello specifico il polibutadiene a terminazione idrossilica (HTPB), risultano poco adatti per la stampa 3D. Il motivo risiede nel fatto che gli isocianati, contenuti all'interno del composto, non consentono la reticolazione dell'HTPB in tempi rapidi, portando così il materiale a una deformazione generata dal suo stesso peso¹³.

Lo stato dell'arte ormai consolidato per la creazione di propellenti solidi compositi riguarda un processo che coinvolge delle fasi ben distinte: scelta e mescolatura dei componenti, granulazione, ovvero formazione del grano¹⁴ di propellente e definizione della configurazione geometrica. La base di partenza è sempre la combinazione dei componenti chiave, ovvero un ossidante, un combustibile (o carburante) e, opzionalmente, un additivo, seppur la composizione dei vari elementi può essere differente a seconda degli impieghi per cui il propellente viene utilizzato.

Essenzialmente è possibile suddividere i propellenti solidi in due distinte: quella dei propellenti solidi *omogenei* (o doppia-base) e quella dei propellenti solidi *eterogenei* (o compositi).

I propellenti solidi omogenei sono costituiti da un ossidante, un combustibile e un legante. Generalmente sono composti a base di nitroglicerina (NG) e nitrocellulosa (NC), entrambi composti che contengono gli elementi utili a sviluppare la reazione chimica di combustione. La stabilità della loro struttura è ottenuta mediante l'aggiunta di un additivo.

I propellenti solidi omogenei presentano alcune caratteristiche che limitano il loro impiego alle sole applicazioni militari. Tra queste:

- Bassi costi di produzione;
- Getto non tossico;

¹³ Monique S. McClain, Aaron Afriat, Jeffrey F. Rhoads, Ibrahim Emre Gunduz, Steven F. Figlio, "Sviluppo e caratterizzazione di un legante fotopolimerico per propellente solido composito prodotto in modo additivo utilizzando la stampa assistita da vibrazioni", (Prop., Explos., Pyrotech. 6/2020)

¹⁴ Il grano di propellente è la miscela dall'aspetto gommosa e dal comportamento viscoelastico che viene a generarsi dalla combinazione dei componenti principali di un propellente.

- Buone proprietà meccaniche;
- Basse prestazioni e densità;
- Elevata pericolosità;

I propellenti più diffusi sono sicuramente i solidi eterogenei o compositi, meno pericolosi dei propellenti a doppia base, costituiti anch'essi da una miscela formata da un ossidante, un combustibile solido e un legante di tipo plastico o gommoso.

Sottocategorie di propellenti solidi compositi sono: i propellenti solidi al perclorato, che utilizzano perclorati come ossidanti, e propellenti solidi alluminizzati, che contengono alluminio come combustibile principale.

La selezione della miscela e la configurazione geometrica del grano costituiscono i due elementi fondamentali per definire le prestazioni del motore. La scelta dei componenti, infatti, determina la quantità di gas che verrà prodotta dalla reattività chimica per generare la spinta, mentre la forma del grano influisce principalmente sulla velocità di combustione e sulla stabilità del sistema nel suo complesso.

Tanto la composizione quanto la forma devono soddisfare dei requisiti affinché il propellente risulti ottimale in tutti i suoi aspetti. Tra i requisiti principali figurano:

- Elevata energia di reazione chimica;
- Prodotti di combustione con basso peso molecolare;
- Alta densità per ridurre il volume del grano;
- Indice di combustione basso per garantire combustione stabile;
- Ridotta sensibilità alle variazioni della temperatura ambiente;
- Resistenza alla combustione erosiva¹⁵;
- Facilità di accensione;
- Performance stabili in relazione alla variabilità delle condizioni operative;
- Buone proprietà meccaniche;
- Buona aderenza alle pareti;
- Bassa sensibilità a tempi lunghi di immagazzinamento;
- Buona stabilità in fase di lavorazione;
- Gas di scarico privi di fumi;
- Facilità di approvvigionamento;

¹⁵ E' un fenomeno che si verifica nei motori a propellente solido, in cui la superficie interna del propellente viene erosa o consumata a causa delle elevate temperature e delle pressioni generate durante la combustione.

- Costi contenuti.

La geometria del grano viene principalmente prodotta per colatura, stampaggio o estrusione del grano, attraverso appositi stampi o utilizzando direttamente la forma del contenitore.

Il tipo di geometria permette di classificare i grani di propellente in base al comportamento che la superficie del grano assume durante il tempo di combustione. Le tre principali categorie in cui un grano di propellente può essere classificato sono:

Grano progressivo: per questa tipologia la geometria del grano favorisce l'incremento della pressione nella camera, della superficie di combustione e della spinta durante il processo di combustione;

Grano neutro: per questa tipologia la variazione della spinta nel tempo si mantiene costante, per cui la combustione è detta costante;

Grano regressivo: questa tipologia la geometria del grano favorisce la diminuzione della pressione nella camera, della superficie di combustione e della spinta durante il processo di combustione¹⁶.

Per propellenti manifatturati separatamente, il grano viene estruso direttamente in una forma stabilita o colato all'interno di appositi stampi, precedentemente definiti, e seguono un processo di indurimento all'interno di enormi forni a temperature controllate. Viceversa, il telaio, sia esso di un motore a razzo o il serbatoio di un estintore, funge da stampo ed il propellente viene colato direttamente al suo interno. Questa alternativa è preferita principalmente per la sua facilità di impiego e per i minori costi di produzione. Tuttavia, essa presenta dei limiti relativi alla tossicità di alcuni elementi, cioè gli isocianati, e ai limiti costruttivi derivanti dalle dimensioni dei forni che non consentono particolare flessibilità alle geometrie dei grani. Questi temi verranno ampiamente discussi nel proseguo della trattazione.

Propellente solido fotopolimerizzato

Come precedentemente menzionato, nonostante il progresso tecnologico nel campo dei propellenti solidi stia progredendo, vi è ancora una forte resistenza al cambiamento rispetto alle invenzioni già consolidate e ai metodi tradizionali di produzione dei

¹⁶ M. Di Giacinto. *Dispense del corso di Endoreattori*. Università di Roma "La Sapienza", Roma.

propellenti. I limiti al superamento di questi tradizionali metodi possono essere associati a diversi fattori, tra cui:

- La necessità di effettuare ingenti investimenti in ricerca e sviluppo, data la complessità della composizione e del processo produttivo di tali materiali;
- La complessità chimica dei componenti che rendono difficile la formulazione di composti poco pericolosi e tossici;
- La necessità di garantire la compatibilità con le infrastrutture esistenti, come quelle dell'industria aerospaziale che spesso si adatta a tipologie di propellenti già presenti sul mercato;
- L'incertezza sull'affidabilità di nuovi prodotti lanciati sul mercato, in quanto le loro proprietà e vantaggi possono non essere ben noti;
- La conformità a norme e regolamenti relativi all'industria dei propellenti solidi che possono rallentare il processo di inserimento di nuove soluzioni.

Tutti questi fattori possono costituire ostacoli significativi nell'adozione di nuove tecnologie e nell'innovazione nel settore dei propellenti solidi.

Tuttavia, le ricerche in questo ambito continuano ad avanzare. Recentemente lo studio dei propellenti solidi è stato improntato all'innovazione di nuove tecnologie, evidenziando un crescente interesse verso l'applicazione di processi avanzati. Tra questi, oggetto di interesse sarà la fotopolimerizzazione, applicata all'ambito della produzione di propellenti solidi e dei componenti di supporto, attraverso le tecniche di additive manufacturing.

La fotopolimerizzazione, infatti, è un processo di produzione additiva, meglio nota come stampa 3D, il quale prevede che, attraverso la deposizione strato dopo strato, il materiale, che si presenta come una miscela omogenea e viscosa, venga colpito da raggi UV, solidificandosi e dando forma ad un oggetto tridimensionale.

Ad oggi, era noto solo un processo di produzione ibrido che coinvolge sia metodologie classiche, che l'adozione di foto-iniziatori¹⁷.

¹⁷ Sono sostanze chimiche o composti utilizzati nei processi di fotopolimerizzazione, il cui ruolo principale è quello di avviare la reazione di polimerizzazione quando vengono esposti a una radiazione luminosa. Questi foto-iniziatori assorbono l'energia luminosa e la trasformano in energia chimica, innescando così la reazione di polimerizzazione.

Il suddetto processo consiste nell'inserimento di un polimero fotosensibile e di un foto-iniziatore al normale composto di propellente solido, miscelando tutti gli ingredienti, in preparazione della fase di formatura.

La forma desiderata è ottenuta grazie ad una parziale reticolazione polimerica, che si attiva per via della presenza del componente fotosensibile precedentemente inserito, al fine di ottenere una struttura in grado di autosostenersi mantenendo la forma.

Successivamente, il composto viene solidificato in appositi forni, seguendo dei cicli termici come stabilito dalla procedura convenzionale.

Il processo descritto indirizza soltanto i limiti relativi alle geometrie producibili, risultando: molto complesso, ad elevato impatto ambientale, notevolmente rischioso in termini di tossicità legata all'utilizzo di sostanze quali isocianati e ad alto costo produttivo, per via della necessità di utilizzo di forni.

L'invenzione oggetto di questa tesi intende rispondere alle esigenze non soddisfatte e ai limiti precedentemente individuati che le attuali invenzioni non soddisfano.

Più precisamente, essa si propone di:

1. Risolvere il problema tecnico legato alle geometrie interne del grano. Queste, come già visto, sono significative per il corretto controllo e per prestazioni efficienti della spinta del gas prodotto, attualmente limitate dal processo produttivo basato sulla colata in stampo e formatura mediante mandrino;
2. Ottenere un controllo mirato a livello locale della composizione chimica del grano, superando la tecnica di stratificazione semplice e consentendo variazioni nella composizione per migliorare il controllo delle prestazioni del prodotto finito;
3. Eliminare la fase di indurimento in forno con cicli di temperatura controllati, che mira a ridurre il rischio produttivo legato all'utilizzo del forno stesso e al mantenimento del grano di propellente in temperatura controllata;
4. Diminuire i costi di produzione grazie all'eliminazione della fase di indurimento in forni;
5. Ridurre il rischio chimico e l'impatto ambientale legati all'impiego di sostanze tossiche (isocianati), sostituite da adeguati foto-iniziatori caratterizzati da quasi totale atossicità;

In sintesi, viene presentata un'invenzione in grado di ampliare lo spettro delle possibili configurazioni geometriche, passando da un tradizionale metodo di produzione in forni, ad uno controllato per mezzo di irradiazione locale di una fonte di luce, semplificando il

processo produttivo (con lo scopo di ridurre i costi e il rischio associato) e sostituendo gli elementi nocivi, con composti utili a ridurre il rischio di tossicità chimica¹⁸.

Descrizione della composizione

L'aspetto principale di questa invenzione si concentra sull'innovativo processo di foto-reticolazione, che coinvolge l'impiego di una resina o di un polimero reso fotosensibile mediante l'aggiunta di specifici additivi.

Il processo produttivo standard di poliaddizione, per la creazione di propellenti solidi nell'ambito propulsivo, prevede l'utilizzo di isocianati quali composti reticolanti nella molecola attraverso la reazione con il polimero presente al suo interno, che principalmente è il polibutadiene a terminazione idrossile (HTPB).

L'invenzione contenuta nel brevetto, oggetto dell'analisi, mostra un metodo alternativo per la formazione delle catene di molecole tridimensionali, le quali rendono solido il materiale. Attraverso l'aggiunta del foto-iniziatore e di altri additivi adeguati, vengono sfruttati i doppi legami del carbonio (C=C) per generare delle nuove strutture foto-reticolate, sostituendo gli isocianati. Più nello specifico, affinché il processo di produzione del propellente avvenga correttamente è opportuno seguire le seguenti fasi:

1. Predisposizione dei componenti: devono essere presenti almeno un componente solido ossidante, un componente liquido polimerico e un foto-iniziatore;
2. Miscelazione dei componenti;
3. Deposizione della miscela: attraverso l'ausilio di un apposito dispositivo viene depositata la miscela ottenuta su un substrato;
4. Solidificazione: la miscela viene solidificata per mezzo di un sistema illuminante, attraverso il processo di polimerizzazione foto-attivata, generando il grano di propellente solido.

Per ciascuna delle componenti elencate, vengono selezionate, fra alcune alternative di composti, quelle preferibili da utilizzare.

Per il componente ossidante, le opzioni principali da utilizzare includono:

- Perclorato d'ammonio;

¹⁸ Pastrone Dario Giuseppe, Sangermano Marco, Garino Simone, Maggi, Filippo, "Processo di produzione di propellente composito tramite deposizione e polimerizzazione foto-attivata per endoreattori a propellente solidi" – ricevuta di presentazione per brevetto per invenzione industriale, Roma Aprile 2019.

- Nitrato d'ammonio;
- Ammonio dinitrammide;
- Nitrato di potassio
- Perclorato di potassio;
- Perclorato di sodio e nitroguanidina.

Il componente liquido polimerico può essere scelto tra:

- Polibutadiene diacrilato,
- Polibutadiene idrossilico
- Polibutadiene carbossilico
- Polipropilene glicole
- Polietilene glicole
- Polibutadiene acrilonitrile,
- Policaprolatone

Il foto-iniziatore viene generalmente selezionato tra i composti appartenenti alla famiglia dei chetoni che sono in grado di innescare reazioni di polimerizzazione radicalica. Nel paragrafo successivo verrà meglio dettagliata la fase di sperimentazione e produzione del propellente.

Descrizione del processo produttivo e sperimentazione

La produzione del propellente solido fotopolimerizzato ha coinvolto una fase di sperimentazione e test in laboratorio. In particolare sono state testate due diverse soluzioni aventi sistemi leganti differenti: uno ha coinvolto l'utilizzo del polibutadiene diacrilato (PBDDA), mentre nell'altra è stato utilizzato il polibutadiene a terminazione idrossilica (HTPB). Generalmente questo legante viene combinato con gli isocianati per dar vita al processo di poliaddizione, generando un composto sul quale non è possibile applicare la fotopolimerizzazione. In questo caso, è stata generata una miscela priva di isocianati ed idonea alla fotopolimerizzazione.

La fase di pesatura e l'incorporazione di sostanze chimiche, sono state concepite per minimizzare l'influenza dalla luce naturale nella formazione indesiderata di reticoli.

Per prima cosa sono stati quantificati i prodotti chimici solidi e in polvere, ai quali successivamente sono stati aggiunti i componenti liquidi nel seguente ordine: polimero, additivi e foto-iniziatore.

Dopo la fase di mescolamento dei componenti, il composto omogeneo è stato depositato su un substrato predisposto o in uno stampo in silicone e successivamente irradiato con raggi UV-A in gas di azoto inerte per circa 30-60 secondi.

I provini sono stati sottoposti a prova di trazione, analisi termogravimetrica (TGA) e analisi termica meccanica dinamica (DMTA).

La prova di trazione è stata condotta per mezzo dell'ausilio di una macchina di prova elettromeccanica e utilizzando campioni di diverse sezioni. I dati raccolti sono stati elaborati per valutare i comportamenti del materiale, osservabili sulla curva stress-strain ottenuta. L'analisi termogravimetrica è stata impiegata per misurare la variazione di massa nel tempo in funzione della variazione costante della temperatura. Infine l'analisi DMTA è stata utilizzata per misurare le proprietà viscoelastiche anch'esse in funzione della temperatura. Dall'analisi TGA è emerso che entrambe le composizioni hanno un comportamento analogo ai propellenti contenenti HTPB e isocianati. Il composto contenente PBDDA è caratterizzato da una stabilità termica di poco maggiore rispetto a quello contenente HTPB, ma il loro comportamento varia di poco.

La prova di trazione ha evidenziato una modalità di frattura fragile per entrambi i composti. Il provino contenente HTPB è resa più plastica ed elastica per via dell'aggiunta di tiolo, un additivo liquido che conferisce un effetto di plastificazione, rendendolo resistente a deformazione. Il modulo di trazione risulta basso rispetto a quello degli attuali propellenti, ma migliorabile.

I dati ottenuti dell'analisi DMTA dimostrano che per il provino contenente PBDDA la transizione vetrosa, parametro che indica la temperatura al di sopra della quale un materiale rigido passa a uno stato più flessibile, è maggiore. In entrambi i casi l'aggiunta di filler incrementa il valore della temperatura di transizione vetrosa.

I risultati delle analisi mostrano come entrambe le resine possano essere soggette a fotopolimerizzazione, con l'aggiunta di carichi solidi sia non metallizzati che alluminati.

Il PBDDA presenta il beneficio di essere fotosensibile grazie ai suoi gruppi funzionali acrilici, e la reazione può essere innescata con l'uso di un solo foto-iniziatore. D'altra parte, l'HTPB, con la sua funzionalizzazione idrossilica, non è fotosensibile, quindi

l'introduzione di un tiolo contenente zolfo è necessaria per attivare i doppi legami carboniosi nella resina polibutadienica¹⁹.

Individuazione dei gap

Come preannunciato, vi sono notevoli differenze tra i propellenti solidi tradizionali e la nuova tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato. Entrambi presentano dei vantaggi e degli svantaggi intrinseci al proprio contesto d'uso.

La composizione e relativo processo produttivo della tecnologia di propellente solido tradizionale, rappresentano sicuramente un *dominant design*²⁰ ormai consolidato.

L'emergere di questa tecnologia quale design predominante è resa possibile grazie a diversi elementi. Sicuramente uno dei fattori principali riguarda l'ampia diffusione nel mercato dei propellenti solidi tradizionali. Il loro largo impiego in differenti applicazioni ha generato affidabilità prestazionale nel tempo, rispondendo alle esigenze e conformandosi alle necessità del mercato. Inoltre, gli ingenti investimenti in infrastrutture e capacità produttive, oltre che in ricerca e sviluppo, al fine di accrescere le proprie conoscenze e competenze nella progettazione, produzione e impiego dei propellenti solidi tradizionali, consolidano lo status di design dominante.

Tutti i fattori sopra citati, sono il risultato di un processo naturale, che si genera dalle dinamiche di mercato, e che porta all'emergere di una soluzione unica capace di soddisfare maggiormente le esigenze di esso. Questo fa sì che il dominant design rimanga stabile grazie a:

- Economie di scala nel processo produttivo, che si generano a seguito della standardizzazione dei processi produttivi su larga scala con costi minimi, ottimizzando la produzione e limitando la flessibilità al cambiamento.
- Apprendimento organizzativo all'interno delle aziende, le quali adattano le proprie strutture e processi produttivi alla realizzazione efficiente del dominant design emerso.

¹⁹ Simone Garino, Paola Antonaci, Dario Pastrone, Marco Sangermano, Filippo Maggi, "Photo-polymerization for additive manufacturing of composite solid propellants", in Acta Astronautica Volume 182, May 2021, Pages 58-65.

²⁰ Il dominant design è un concetto di gestione della tecnologia che identifica le caratteristiche chiave di una tecnologia rendendola uno standard de facto. Un design dominante è quello che conquista la fedeltà del mercato, a cui concorrenti e innovatori devono aderire se sperano di ottenere un significativo seguito di mercato.

- Esternalità di rete, generate dall'ampio utilizzo del propellente da parte di diversi attori, che ampliano la rete di utilizzatori e il beneficio di chi li usa.
- Investimenti in asset complementari. Molte imprese, come ad esempio quelle aerospaziali, spesso sviluppano i loro prodotti sulla base dei propellenti solidi tradizionali, che in questo caso divengono asset complementari e che tendono a dipendere gli uni dagli altri.

Tuttavia, esistono diverse motivazioni che possono spingere il dominant design affermato ad una fase di declino e sostituzione con uno nuovo.

In primo luogo la ricerca scientifica si classifica come uno dei principali fenomeni per cui le tecnologie affermate sul mercato tendono ad essere sostituite. Quando emergono nuove informazioni e scoperte scientifiche, è possibile che si scatenino processi di innovazione che conducono alla progettazione e sviluppo di nuovi prodotti o soluzioni tecnologiche.

Anche le esigenze e le necessità specifiche del mercato possono condurre al superamento di una tecnologia già consolidata e all'affermarsi di una nuova nascente che meglio risponda alle lacune o problemi.

Infine, le nuove tecnologie sorgono in risposta a sfide di vasta portata. Queste sfide possono riguardare ambiti come la sostenibilità ambientale, l'esplorazione spaziale, la sicurezza globale, o altre questioni di rilevanza sociale.

La tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato ha radici nelle scoperte scientifiche, risponde a esigenze specifiche del settore e si configura come risposta alle sfide mission-critical, incorporando così tutte e tre le principali motivazioni che guidano l'evoluzione tecnologica.

All'interno di questo scenario, l'evoluzione legata alla tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato potrebbe rappresentare un significativo cambiamento di paradigma²¹ nel settore dei propellenti solidi, ed è argomentata da diverse ragioni:

1. Precisione e Complessità: nel contesto dell'additive manufacturing l'utilizzo della fotopolimerizzazione consente la produzione di propellenti solidi con una precisione e complessità notevolmente superiori rispetto ai metodi tradizionali.

²¹ Un paradigma tecnologico è un insieme di principi ispiratori che sovrintendono all'evoluzione tecnologica e indirizzano la ricerca scientifica e tecnologica in un dato periodo. In altre parole è il frutto di innovazioni incrementali o modulari che rinnovano il paradigma esistente senza stravolgere il dominant design consolidato.

Questo consente la progettazione di geometrie interne ottimizzate per migliorare le prestazioni.

2. Personalizzazione: La stampa 3D abilitata dalla fotopolimerizzazione consente di personalizzare i propellenti solidi per applicazioni specifiche. Questo è particolarmente rilevante in settori come l'industria aerospaziale, dove le esigenze possono variare notevolmente.
3. Riduzione dei Rifiuti: La produzione tramite stampa 3D può ridurre lo spreco di materiale, in quanto permette di fabbricare pezzi esatti senza bisogno di lavorazioni successive.
4. Velocità e Flessibilità: La fotopolimerizzazione è un processo noto per la sua rapidità. Questo fattore è fondamentale in settori in cui sono necessari tempi di produzione rapidi. Inoltre, è facilmente possibile cambiare la combinazione dei materiali utilizzati durante la stampa, offrendo una maggiore flessibilità.
5. Ricerca e Sperimentazione: La fotopolimerizzazione apre nuove prospettive per la ricerca e lo sviluppo di propellenti solidi avanzati, consentendo sperimentazioni più efficaci e riducendo i costi associati a grandi processi di produzione.

In sintesi, il processo di fotopolimerizzazione nell'ambito dell'additive manufacturing rappresenta un passo significativo nella modernizzazione del settore dei propellenti solidi, consentendo l'adozione di nuove tecnologie per migliorare le prestazioni, la personalizzazione e la sostenibilità dei propellenti solidi.

Dalla descrizione precedente emerge quindi che la soluzione tecnica innovativa qui presentata offre i seguenti vantaggi:

- Possibilità di produrre geometrie nuove prima precluse;
- Eliminazione della fase di indurimento in appositi forni ad elevate temperature;
- Eliminazione degli isocianati usati come reagenti chimici riconosciuti tossici e noti cancerogeni dall'Agenzia Internazionale per la ricerca sul cancro;
- Semplificazione del processo produttivo, con conseguente ottenimento del prodotto finito, in un singolo passaggio;

- Possibilità di “fine tuning”, ovvero un affinamento in fase di deposizione che prevede la possibilità di apportare una variazione alle percentuali di reagenti, al fine di ottenere un gradiente chimico nel grano.²²

L’inserimento dell’innovativo propellente solido composito, e relativo processo produttivo, come nuovo paradigma emergente, presenta numerose sfide legate alle dinamiche di mercato. Questa tematica costituirà l’oggetto di approfondimento nel capitolo successivo.

²² Pastrone Dario Giuseppe, Sangermano Marco, Garino Simone, Maggi, Filippo, *“Processo di produzione di propellente composito tramite deposizione e polimerizzazione foto-attivata per endoreattori a propellente solidi”* – ricevuta di presentazione per brevetto per invenzione industriale, Roma Aprile 2019.

Capitolo 3

ANALISI DI MERCATO

Il presente capitolo affronterà la tematica relativa alla metodologia utilizzata per l'analisi di mercato dei propellenti solidi quali sistemi di propulsione. L'attenzione sarà posta particolarmente verso il settore aerospaziale. L'obiettivo sarà quello di acquisire una comprensione dei potenziali mercati all'interno dei quali inserire l'invenzione oggetto della ricerca, identificandone le dinamiche di mercato, i principali concorrenti e attori del settore e le tendenze emergenti, cercando di definire una possibile strategia di inserimento nel mercato.

In primo luogo, verrà descritta la metodologia di ricerca e di raccolta dei dati utilizzati per l'analisi, al fine di presentare una chiara comprensione del processo che ha guidato l'indagine di mercato.

Successivamente saranno esposti i risultati dell'analisi dei dati raccolti, finalizzati all'individuazione del mercato di riferimento selezionato per il caso specifico. Inizialmente verrà descritta una disamina dettagliata del mercato aerospaziale, attraverso un processo di affinamento che parte dal contesto globale dei lanciatori e giunge al settore aerospaziale europeo.

Saranno poi introdotti degli strumenti di analisi che seguono dei framework precisi, come l'analisi SWOT (Strength, Weaknesses, Opportunities, Threats), al fine di identificare punti di forza e di debolezza delle aziende operanti nel settore dei propellenti solidi e comprendere le capacità e le vulnerabilità delle imprese coinvolte, e l'analisi PESTEL (Political, Economical, Social, Technological, Environmental, Legal), al fine di esaminare gli aspetti esterni legati alla sfera politica, economica, sociale, tecnologica, ambientale e legale, che possono influenzare il mercato. Questa prospettiva ci aiuterà ad identificare nuove opportunità e potenziali minacce, nonché a comprendere come cambiamenti normativi, tendenze sociali e innovazioni tecnologiche possono avere un impatto sul settore.

Metodologia di ricerca

Lo studio delle dinamiche del mercato aerospaziale è stato rilevante per poter valutare le principali opportunità di business fornite dal mercato, individuare i principali players attivi, ricavare una stima quantitativa della domanda e delle vendite, supportare le decisioni di investimento nell'attività di ricerca e sviluppo, al fine di individuare una strategia di inserimento della tecnologia analizzata nel mercato di riferimento.

Il segmento di mercato di riferimento su cui è stata svolta l'analisi è relativo, principalmente, al settore aerospaziale europeo.

La metodologia utilizzata per la raccolta dei dati ha inizialmente previsto l'individuazione del numero di lanci spaziali, a livello mondiale, nel periodo compreso tra il 2005 e il 2023, come è possibile osservare in Tabella 2.

Successivamente è stato dettagliato, in modo puntuale, il numero di lanci relativo a ciascuno dei principali Paesi coinvolti nella progettazione e nello sviluppo dei razzi utilizzati per effettuare le missioni spaziali.

In base al numero annuale di lanci spaziali, è stata determinata la quota di incidenza di ciascun Paese sui lanci spaziali mondiali, espressa in termini percentuali. L'analisi dei dati selezionati si è concentrata successivamente sul mercato europeo, designato come area geografica di riferimento, esaminandone l'andamento nell'arco temporale di un decennio circa.

Nel corso di questa analisi decennale, sono stati studiati i principali vettori di lancio impiegati per le missioni spaziali anno per anno. Questa valutazione ha incluso una dettagliata analisi delle aziende produttrici, che hanno avuto un ruolo principale nelle missioni, studiando i modelli di lanciatori utilizzati, nonché il tipo di propellente impiegato per alimentarli e la quantità (in massa) di propellente necessaria per portare a termine ciascuna missione.

In seguito all'identificazione delle tendenze e delle dimensioni del mercato, nonché dei principali partecipanti, sono state eseguite l'analisi SWOT e l'analisi PESTEL sulla nuova tecnologia. Queste analisi hanno lo scopo di valutare i fattori interni ed esterni che riguardano le opportunità di investimento e la strategia di penetrazione del mercato.

Analisi dei dati raccolti

Di seguito vengono evidenziati e dettagliati i risultati dell'analisi dei dati raccolti. Al fine di comprendere la grandezza del mercato ed avere una visione ad ampio spettro di

quelli che sono i principali Paesi attivi nel settore aerospaziale, è stato individuato il numero di lanci orbitali effettuati in tutto il mondo nel corso degli ultimi vent'anni. Questo approccio ha consentito di valutare l'attività spaziale di ciascun Paese e di ottenere una panoramica dettagliata.

L'identificazione dei lanci spaziali a livello mondiale è finalizzata a ottenere una panoramica completa, facilitando l'individuazione dei paesi che svolgono un ruolo predominante in questo settore, e consentendo di individuare il mercato di riferimento.

I dati raccolti comprendono il numero totale di lanci spaziali, includendo:

- missioni con equipaggio umano e missioni robotiche;
- destinazioni come orbite terrestri basse, missioni interplanetarie e missioni lunari;
- esplorazioni del sistema solare;
- messa in orbita di satelliti per telecomunicazioni e osservazione della Terra.

La *Tabella 2* contiene il dettaglio del numero di lanci spaziali suddivisi per Paese dal 2005 fino ad oggi.

Numero di lanci orbitali per anno																			
Paese	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
China	5	6	20	11	5	15	18	19	14	16	19	20	16	38	32	35	53	62	42
Europe	5	5	6	6	7	6	5	8	5	7	9	9	9	7	9	7	7	6	2
India	1	0	2	3	2	1	3	2	3	4	5	7	4	7	6	2	1	4	7
Iran	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
Japan	2	6	2	1	3	2	3	2	3	4	4	4	6	6	2	1	3	0	2
Russia	25	21	21	23	26	27	25	24	28	31	24	18	18	19	25	4	24	22	12
South Korea	0	0	0	0	0	0	6	1	1	3	2	1	0	0	0	17	0	1	1
US	12	17	17	14	23	15	17	12	19	22	18	22	29	34	27	40	48	84	72
Mondo	50	55	68	58	67	66	78	69	73	88	82	82	82	111	101	107	136	180	139

Tabella 2. Numero dei lanci orbitali annuali per paese di origine del razzo – Statista

I dati raccolti in *Tabella 2* sono stati plottati per mostrare l'evoluzione dei lanci spaziali nel tempo. Come è possibile osservare dal grafico sottostante (*Grafico 1*), l'andamento dei lanci effettuati annualmente è in continua crescita. Tale trend di crescita può essere attribuito a una serie di fattori chiave che hanno contribuito a stimolare l'attività aerospaziale globale:

- 1 Avanzamenti tecnologici, che nel corso degli anni hanno portato a progressi significativi, rendendo più accessibili i viaggi nello spazio;
- 2 Crescente interesse nell'esplorazione dello spazio e sviluppo delle capacità spaziali;
- 3 L'applicazione per l'uso commerciale e civile di satelliti, come ad esempio per le telecomunicazioni, osservazioni della terra, navigazione ecc.;
- 4 Collaborazioni internazionali con lo scopo di condividere i costi e le risorse, facilitando il lancio di missioni complesse;

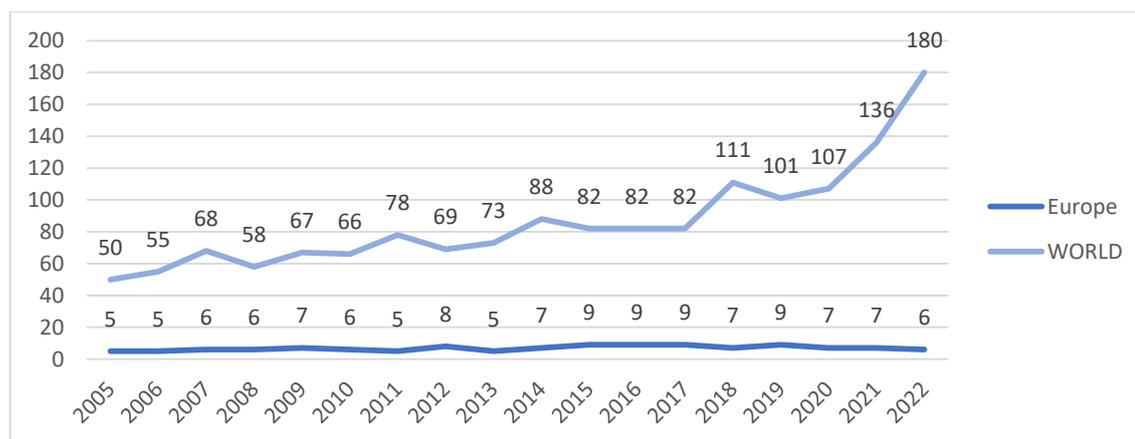


Grafico 1. Andamento dei lanci spaziali negli anni

Dai dati raccolti in *Tabella 2* è stata valutata l'incidenza di ciascun Paese sui lanci spaziali in termini percentuali. Per calcolare la quota di ciascun Paese è stata applicata la seguente formula:

$$Quota\ di\ incidenza = \frac{Numero\ lanci\ Paese}{Numero\ di\ lanci\ mondiali}$$

- Il “Numero di lanci Paese” fa riferimento al numero di lanci effettuati in un determinato anno nel relativo Paese;
- Il “Numero di lanci mondiali” fa riferimento al numero di lanci totali avvenuti nel mondo in quel determinato anno.

Percentuale di lanci orbitali per anno																				
Paese	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	MEDIA
China	10,0%	10,9%	29,4%	19,0%	7,5%	22,7%	23,1%	27,5%	19,2%	18,2%	23,2%	24,4%	19,5%	34,2%	31,7%	32,7%	39,0%	34,4%	30,2%	24,0%
Europe	10,0%	9,1%	8,8%	10,3%	10,4%	9,1%	6,4%	11,6%	6,8%	8,0%	11,0%	11,0%	11,0%	6,3%	8,9%	6,5%	5,1%	3,3%	1,4%	8,2%
India	2,0%	0,0%	2,9%	5,2%	3,0%	1,5%	3,8%	2,9%	4,1%	4,5%	6,1%	8,5%	4,9%	6,3%	5,9%	1,9%	0,7%	2,2%	5,0%	3,8%
Iran	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	0,0%	1,3%	1,4%	0,0%	1,1%	1,2%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%	0,6%	0,7%	0,5%
Japan	4,0%	10,9%	2,9%	1,7%	4,5%	3,0%	3,8%	2,9%	4,1%	4,5%	4,9%	4,9%	7,3%	5,4%	2,0%	0,9%	2,2%	0,0%	1,4%	3,8%
Russia	50,0%	38,2%	30,9%	39,7%	38,8%	40,9%	32,1%	34,8%	38,4%	35,2%	29,3%	22,0%	22,0%	17,1%	24,8%	3,7%	17,6%	12,2%	8,6%	28,2%
South Korea	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	1,4%	1,4%	3,4%	2,4%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	15,9%	0,0%	0,6%	0,7%	1,8%
US	24,0%	30,9%	25,0%	24,1%	34,3%	22,7%	21,8%	17,4%	26,0%	25,0%	22,0%	26,8%	35,4%	30,6%	26,7%	37,4%	35,3%	46,7%	51,8%	29,7%
Mondo	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabella 3. Percentuali dei lanci orbitali annuali per paese di origine del razzo

I dati riportati nel Grafico 2 rappresentano una percentuale media di incidenza dei vari Paesi negli anni e sono derivati dalle percentuali di incidenza precedentemente ricavate (tabella 3) secondo la seguente formula:

$$\text{Percentuale media annua} = \frac{\text{Somma percentuali Paese}}{\text{Numero di anni considerati}}$$

- La “Somma percentuali Paese” fa riferimento alla somma delle percentuali di lanci, anno per anno, nel relativo Paese;
- Il “Numero di anni” fa riferimento alla somma degli anni durante i quali, quel determinato Paese, ha effettuato delle missioni spaziali.

Dall'analisi dei dati raccolti, si evince che gli Stati Uniti mantengono una posizione predominante in media nel numero di lanci annuali (29,7%), seguiti immediatamente dalla Russia (28,2%) e dalla Cina (24,0%).

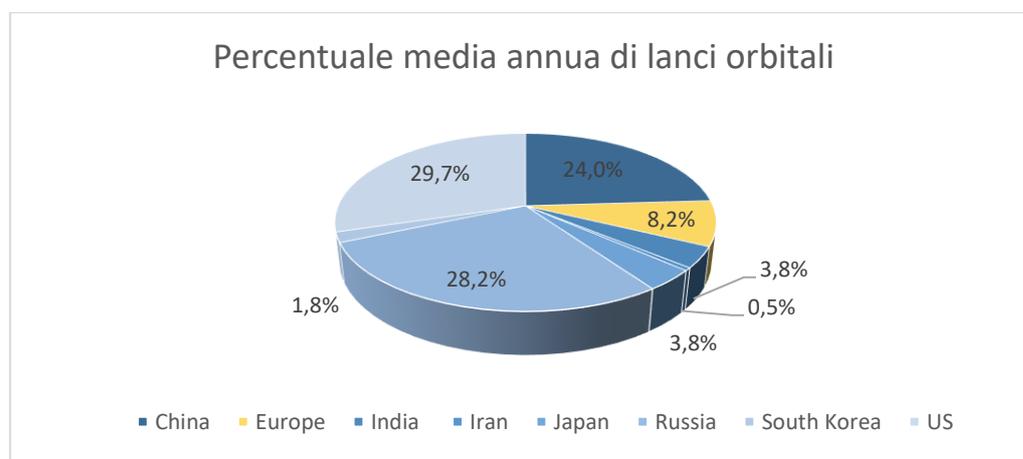


Grafico 2. Percentuale media annua di lanci orbitali

Gli Stati Uniti sono da sempre stati un colosso mondiale nel settore aerospaziale, grazie alla presenza della NASA (National Aeronautics and Space Administration) che ha giocato un ruolo fondamentale nell'invio di astronauti sulla Luna e nello sviluppo di missioni spaziali innovative. La Russia ha un'eredità storica nel settore spaziale ed è un partner chiave nella fornitura di accesso allo spazio attraverso i lanci con il razzo Soyuz e altri veicoli spaziali. Per quanto riguarda la Cina, ha compiuto significativi progressi nel settore aerospaziale, con una serie di missioni spaziali di successo. Ha aumentato notevolmente gli investimenti nella sua agenzia spaziale (CNSA) e ha ambizioni di espansione nello spazio profondo, con piani per missioni su Marte e una stazione spaziale cinese.

Fatta questa premessa, però, il mercato di riferimento scelto è stato quello europeo, che contribuisce in media a circa l'8,2% del totale dei lanci spaziali globali.

Il mercato europeo è stato scelto come mercato di riferimento nel settore aerospaziale per i motivi di seguito elencati:

Tecnologia Innovativa: L'Europa ha una solida reputazione per essere all'avanguardia nella tecnologia aerospaziale. Aziende del settore e agenzie come l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) creano nuove tecnologie e sono coinvolte in progetti spaziali innovativi.

Situazione geografica vicina: La posizione geografica dell'Europa è favorevole in termini di accessibilità. La logistica necessaria per le operazioni spaziali è semplificata quando i siti di lancio e i centri di ricerca sono vicini, il che riduce i costi di trasporto.

Collaborazione internazionali: L'Europa partecipa a significative collaborazioni internazionali nell'industria aerospaziale. La collaborazione aiuta a condividere risorse, know-how e costi, rendendo il mercato europeo attraente per le aziende e gli investitori.

Infrastrutture realizzate: La presenza di infrastrutture sviluppate, come centri di lancio, laboratori di ricerca e istituti accademici di alto livello, crea un ambiente favorevole all'innovazione e allo sviluppo di progetti spaziali complessi.

Stabilità economica e politica: Le condizioni di stabilità politica ed economica in Europa favoriscono gli investimenti nell'industria aerospaziale. Questa stabilità fornisce una base sicura per le operazioni a lungo termine.

Accesso a mercati internazionali: Le aziende aerospaziali europee possono accedere facilmente a mercati globali attraverso accordi commerciali e collaborazioni internazionali perché fanno parte di un mercato più ampio, come l'Unione Europea.

Regolamentazione chiara e duratura: Un quadro normativo chiaro e stabile nel settore aerospaziale può spingere le aziende ad investire e a partecipare. L'Europa ha implementato regolamenti solidi che favoriscono la creazione di un contesto favorevole alle imprese in termini di previsione.

Prendendo in considerazione un arco temporale decennale, sono state analizzate tutte le missioni spaziali occorse in Europa durante questo periodo.

Dall'analisi è emerso che, generalmente, le principali missioni europee sono condotte dall'ESA (European Space Agency), che per le proprie operazioni ed esplorazioni spaziali viene principalmente affiancata dall'azienda Arianespace, produttrice dei più importanti lanciatori impiegati nelle imprese interplanetarie. La Società, considerata prima azienda mondiale nel trasporto spaziale commerciale, con esperienza pluridecennale nel settore, si occupa dello sviluppo e della produzione dei lanciatori Vega, Vega-C e Ariane 5 per le missioni spaziali con finalità di trasporto dei satelliti in orbita. Mentre, per la produzione del lanciatore Sojuz-2, il più utilizzato al mondo per il trasporto degli astronauti sulla Stazione Spaziale Internazionale, per il trasporto del carico utile in orbita terrestre bassa e per il posizionamento in orbita geostazionaria dei satelliti, parimenti utilizzato dall'ESA per le proprie operazioni spaziali, si occupano le aziende russe RKK Ènergija, adibita allo sviluppo, e RKC Progress per la parte di produzione.

E' stato analizzato ciascuno dei lanciatori sopra citati, de quali vengono riportate di seguito le principali caratteristiche differenti:

- **Ariane 5:** lanciatore ibrido, presenta due stadi di lancio: il primo, l'H158, comprende un serbatoio alimentato ad idrogeno e ossigeno liquidi, mentre il secondo stadio è montato in testa al serbatoio e prima del carico utile. Ai lati del serbatoio sono presenti due razzi alimentati a propellente solido, P238. L'utilizzo primario dell'Arane 5 è il posizionamento in orbita geostazionaria dei satelliti.
- **Vega:** lanciatore a quattro stadi, presenta al primo stadio, il P80, il più grande e più potente propulsore a propellente solido monoblocco del mondo, il secondo e terzo stadio sono Zefiro 23 e Zefiro 9, anch'essi alimentati a propellente solido, mentre l'ultimo stadio è AVUM, che utilizza propellente liquido (UDMH) e trasporta il carico leggero in orbita terrestre bassa.
- **Vega-C:** è una nuova configurazione del lanciatore Vega, permette di trasportare carichi con massa fino al 60% in più in orbita terrestre bassa. Come il suo

predecessore, presenta quattro stadi di cui 3 a propellente solido, P120C, Zefiro 40 e Zefiro 9, mentre il quarto stadio, AVUM+, a propellente liquido.

- **Sojuz:** vettore a quattro stadi, è utilizzato per l'immissione di carichi utili in orbita terrestre bassa e alimentato a propellente liquido LOX/UDMH o kerosene RP-1.

Il dettaglio delle principali caratteristiche dei lanciatori analizzati è riassunto nella tabella sottostante.

Company	Arianespace	Arianespace	Arianespace	RKC
Launcher Name	Vega-C	Vega	Ariane 5	Sojuz-2
Propellant type	HTPB (solido)	HTPB (solido)	Liquido Idrogeno/Ossigeno Razzi ausiliari (2): HTPB (solido)	RP-1 (kerosene)/ Ossigeno Liquido (LOX)
Stages	Primo: P120C Secondo: Zefiro 40 Terzo: Zefiro 9	Primo: P80 Secondo: Zefiro 23 Terzo: Zefiro 9	Primo: H158 Secondo: P238	/
Propellant mass (ton)	190,3	122,5	240 (ciascuno)	/

Tabella 4. Tipi di lanciatori analizzati

La produzione dei lanciatori analizzati coinvolge la presenza di alcune aziende specializzate nella produzione di motori a razzo tecnologicamente avanzati, nonché nella fornitura di propellente utile ad alimentare i razzi. Tra questi rivestono una posizione di rilievo le aziende Avio, leader nella ricerca e sviluppo di nuovi materiali ed equipaggiamenti per applicazioni spaziali che progetta, sviluppa, produce e assembla lanciatori spaziali, sistemi di propulsione solida e liquida e adattatori per il carico utile, e Regulus una joint-venture tra le aziende Avio e Ariane Group.

Un dettaglio delle principali aziende coinvolte è riportato in *tabella 5*.

Azienda	Prodotto
AVIO	Avio ha una quota importante nella produzione dei motori a propellente solido del lanciatore Ariane 5, che trasportano 240 tonnellate di propellente ciascuno. I due booster di Ariane 5 forniscono il 90 per cento della spinta al lanciatore al decollo per 130 secondi. Attualmente, sono i motori a razzo a propellente solido i più potenti al mondo.
AVIO	Avio sviluppa il motore a propellente solido P120 C (Common), lavorando in sinergia con Ariane Group. Il nuovo gruppo motopropulsore deriva dal primo stadio del razzo Vega, il P80. Avrà la capacità di contenere 141 tonnellate di propellente solido . Il motore P120 C sarà sia il primo stadio del razzo Vega C sia il booster a propellente solido del futuro Ariane 6.
REGULUS	Joint-Venture per il 60% facente capo a Avio e per il 40% al Gruppo Ariane, produttore di propellente solido utilizzati per alimentare i segmenti S1, S2, S3 dei Ariane 5

Tabella 5. Principali aziende aerospaziali

Dopo aver esaminato i diversi tipi di lanciatori e le principali aziende che operano in questo settore, è ora importante guardare anche all'aspetto economico legato ai costi di produzione. Questo tipo di approfondimento fornisce una panoramica dell'economia e della concorrenza che caratterizzano l'industria dei lanciatori spaziali.

Per quanto riguarda il costo medio di propellente solido composito, esso può variare notevolmente in base a diversi fattori. Questi fattori includono la composizione specifica del propellente, la quantità prodotta, la complessità del processo di produzione, le condizioni di mercato e la localizzazione geografica. Pertanto, non esiste un costo medio unico e universale per la produzione di propellenti solidi compositi.

Nel settore aerospaziale e delle propulsioni, il costo del propellente solido composito può oscillare tra circa 10 e 50 dollari o più per chilogrammo, cifre che possono variare notevolmente a seconda delle circostanze specifiche. Per cui l'individuazione di una fascia di prezzo precisa dipenderà da fattori come ad esempio la composizione chimica del materiale, l'innovazione tecnologica legata ad esso, le condizioni di mercato tra domanda e offerta, la concorrenza, le capacità produttive, che rappresentano solo alcune delle caratteristiche da tenere in considerazione. Per ottenere una stima precisa del costo del propellente solido composito in una situazione specifica, è necessario condurre un'analisi dettagliata basata su dati aggiornati e specifici per il caso in questione.

Analisi di mercato

Dopo aver esaminato attentamente le principali aziende dell'industria aerospaziale europea, verrà intrapresa un'analisi più approfondita del mercato. La valutazione della dimensione economica del settore sarà il focus di questa fase dello studio, con lo scopo di prevedere possibili andamenti di crescita futuri e di delineare delle ipotesi relative alla distribuzione della market share all'interno del mercato europeo.

Un passo significativo per comprendere l'impatto economico complessivo dell'industria aerospaziale in Europa è valutare la dimensione monetaria del mercato globale. Questa valutazione consentirà di identificare tendenze, problemi e opportunità che influenzano la situazione finanziaria del settore, oltre che di valutare la redditività del mercato di interesse e di identificare gli attori chiave.

Per prima cosa sono stati raccolti i dati relativi alla grandezza del mercato della propulsione a razzo dal 2018 al 2022, indicando per ciascuno dei principali Paesi la valorizzazione in termini monetari, come mostrato in *tabella 5*.

Paese	2018	2019	2020	2021	2022
U.S.	1.991,39	1.819,20	1.908,18	1.957,79	1.973,46
France	220,75	199,58	209,34	214,78	216,50
Russia	753,13	684,35	717,82	736,49	742,38
Ukraine	51,94	46,01	48,26	49,52	49,91
China	1.355,64	1,245.45	1.306,37	1.340,33	1.351,06
India	148,03	137,89	144,63	148,40	149,58
Japan	169,32	150,92	158,30	162,42	163,72
New Zealand	322,03	297,03	311,56	319,66	322,22
Iran	41,55	36,39	38,17	39,16	39,48
Others	140,24	126,56	132,75	136,20	137,29
Total	5.194,02	4.743,39	4.975,40	5.104,76	5.145,60

Tabella 6. Mercato della propulsione a razzo, per regione, 2018-2022 (milioni di dollari)

I dati ottenuti sono stati derivati tenendo conto di alcuni parametri importanti:

1. E' stato ispezionato il panorama competitivo identificando le principali aziende attive nel settore, le quali sono state analizzate su scala globale. Nell'analisi, sono state prese in considerazione: la valutazione delle vendite e della domanda in diversi Paesi, nonché la consultazione dei dati riportati nei comunicati stampa delle aziende che operano nel settore della propulsione a razzo. Alcune delle aziende esaminate includono Antrix, Aerojet Rocketdyne, Mitsubishi Heavy Industries, Northrop Grumman, Safran S.A., SpaceX, Blue Origin, China Great Wall Industry Corporation, NPO Energomash, Virgin Galactic, IHI Corporation e Yuzhmash. Le informazioni fornite da queste aziende sono risultate fondamentali per comprendere le dinamiche del mercato a livello globale e regionale.
2. E' stato fatto riferimento ad informazioni pubblicate da fonti autorevoli come la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), l'Agenzia Spaziale Israeliana (ISA), l'Organizzazione Indiana per la Ricerca Spaziale (ISRO) e la National Aeronautics and Space Administration (NASA). Queste fonti autorevoli forniscono dati affidabili e verificabili che contribuiscono a garantire un quadro completo e accurato delle dinamiche del mercato.

Per garantire una convalida accurata della dimensione del mercato, è stato essenziale esaminare attentamente diversi fattori chiave. Gli elementi elencati di seguito sono stati valutati e ponderati per garantire una rappresentazione completa e affidabile delle dimensioni effettive del mercato:

- Tendenze di Crescita Regionali: L'analisi delle tendenze di crescita nei diversi mercati applicativi a livello regionale ha fornito una prospettiva dettagliata sull'evoluzione del settore in contesti geografici specifici.
- Scenario Normativo: La comprensione approfondita dello scenario normativo è stata essenziale per valutare l'impatto delle regolamentazioni sul mercato e prevedere eventuali sviluppi futuri.
- Analisi delle Quote di Mercato Aziendali: L'esame delle quote di mercato detenute dalle singole aziende ha contribuito a identificare i principali attori che guidano il settore.
- Impatto del Covid sull'Industria: L'analisi ha tenuto conto degli effetti della pandemia di Covid-19 sull'industria della propulsione a razzo, valutando come le dinamiche del mercato abbiano risposto a questo impatto senza precedenti.
- Feedback dei Principali Attori del Settore: Il feedback ricevuto direttamente dai principali attori del settore è stato considerato come un elemento chiave per ottenere

una prospettiva informativa e dettagliata sulle sfide e le opportunità che caratterizzano il mercato della propulsione a razzo.

La *tabella 7* mostra la quota di mercato detenuta dai principali Paesi nel 2022.

Regione	2022
U.S.	38,4%
Francia	4,1%
Russia	14,2%
Ucraina	0,9%
Cina	26,7%
India	3,1%
Giappone	3,0%
Nuova Zelanda	6,5%
Iran	0,7%
Altri	2,5%
Totale	100,0%

Tabella 7. Quota di mercato della propulsione a razzo, per Paese, 2022 (%)

Da questa analisi emergono chiari segnali di tendenze di mercato che delineano il panorama dinamico dell'industria spaziale. Il settore aerospaziale, infatti è in continua evoluzione e l'avanzamento tecnologico lo porta ad essere un mercato in continua espansione. A tal proposito, alcuni punti importanti da considerare e che favoriscono la crescita del settore sono riportati di seguito:

Aumento degli investimenti:

L'aumento degli investimenti nel settore spaziale, sia da parte delle autorità governative che degli attori privati del settore, rappresenta un fattore significativo per la crescita di questo mercato. La fiducia e l'interesse mostrati dalle istituzioni governative e dalle aziende private stanno stimolando lo sviluppo di progetti spaziali sempre più ambiziosi.

Tecnologie in sviluppo:

I propellenti ecologici e i motori a razzo a detonazione rotante sono nuove opportunità di mercato intriganti. In un tentativo di migliorare l'efficienza e risolvere problemi

relativi al trasporto, alla produzione e alla movimentazione a terra, organizzazioni di spicco come la NASA e l'Indian Space Research Organization (ISRO) stanno adottando la propulsione a razzo verde come alternativa sostenibile alla propulsione chimica tradizionale.

Efficienza della propulsione verde:

L'attenzione verso temi legati alla sostenibilità e all'inquinamento è sempre più presente, per questo motivo anche all'interno del settore aerospaziale si mira a ridurre l'impatto ambientale e a promuovere soluzioni più sostenibili. Le tecnologie di razzi e prodotti ausiliari più sostenibili si concentrano sulla migliorata efficienza complessiva del propellente, mentre contemporaneamente affronta le sfide logistiche di movimentazione a terra, produzione e trasporto

Crescente richiesta di satelliti commerciali:

I paesi e i produttori di apparecchiature spaziali lavorano in modo sinergico e collaborativo al fine di generare sistemi di propulsione, tecnologie alla base dei programmi di lancio nello spazio, con l'obiettivo di sviluppare sistemi di propulsione riutilizzabili al fine di ridurre al minimo i costi complessivi delle missioni spaziali.

Aumento degli investimenti nella difesa:

Un fattore importante per il mercato aerospaziale è l'aumento delle spese per la difesa nelle varie economie, con l'obiettivo di potenziare le infrastrutture informatiche e militari. In concomitanza, il dispiegamento di svariati tipi di satelliti contribuisce a guidare ulteriormente la domanda nel settore aerospaziale.

Crescente competizione:

La crescita del settore della propulsione a razzo è accelerata dalla crescente competizione tra i principali paesi per ottenere quote di mercato nella corsa allo spazio. Molti programmi orbitali sono supportati da diversi sistemi di lancio spaziale forniti da aziende note come Northman Grumman, IHI Corporation e SpaceX. Nel 2022 sono stati registrati più di 180 lanci di razzi in tutto il mondo; gli Stati Uniti hanno registrato oltre il 40% dei lanci, seguiti dalla Cina con il 34%. La domanda per la propulsione a razzo sta crescendo a causa di questa intensa attività di lancio orbitale.

Collaborazioni strategiche:

Attori chiave nel settore della propulsione a razzo stanno concentrando i loro sforzi sullo sviluppo di modelli di alta qualità e sullo stabilire collaborazioni strategiche per supportare missioni spaziali più complesse. Tale approccio riflette l'importanza di

adottare soluzioni innovative e collaborative per affrontare le sfide e capitalizzare sulle opportunità emergenti nel mercato aerospaziale²³.

Queste tendenze delineano una prospettiva promettente per l'industria spaziale, evidenziando la convergenza di innovazioni tecnologiche, sostenibilità ambientale e un aumento degli investimenti che stanno plasmando il futuro del settore.

Al fine di mettere in evidenza la dinamica crescita del mercato, è stata condotta una stima prospettica della sua dimensione, proiettando l'andamento previsto da oggi fino al 2032 (i dati dal 2018 al 2022 sono dati reali). Tale previsione è basata su una stima media del CAGR²⁴ (Tasso di Crescita Annuo Composto) del 7,5%. Questo metodo consente di delineare una visione futura del mercato tenendo conto della sua potenziale espansione nel corso degli anni e fornendo una previsione che tiene conto di fattori normativi, economici e tecnologici.

Posto che il tasso di crescita medio rimanga intorno al valore calcolato, le previsioni indicano che la grandezza del mercato, da qui ai prossimi dieci anni, potrebbe raddoppiare, raggiungendo una valorizzazione di circa 10 miliardi di dollari, come si evince dalla *tabella 8*.

Dimensioni del mercato della propulsione a razzo (milioni di \$)														
2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
5.194,02	4.743,39	4.975,40	5.100,00	5.140,00	5.525,50	5.939,91	6.385,41	6.864,31	7.379,13	7.932,57	8.527,51	9.167,08	9.854,61	10.593,70

Tabella 8. Stima delle dimensioni del mercato della propulsione a razzo 2018-2032

E' importante notare come la crescita del mercato abbia subito un rallentamento a cavallo tra il 2020 e il 2022 a causa dell'epidemia da Covid-19, che ha ritardato le attività di ricerca e sviluppo, impattando sull'innovazione tecnologica, oltre che aver causato la riduzione di investimenti nell'industria aerospaziale e alla sospensione o annullamento di diverse missioni spaziali. Nonostante l'impatto iniziale negativo del COVID-19, il settore aerospaziale è riuscito a manifestare una notevole resilienza, registrando una ripresa significativa. Non solo ha recuperato la sua valorizzazione di

²³ Rocket Propulsion Market - by Type (Rocket Motor, Rocket Engine), By Fuel Type (Hybrid, Liquid, Solid), By Orbit Type (Lower Earth Orbit, Medium Earth Orbit), Geostationary Earth Orbit, Beyond Geostationary Orbit), By Vehicle Type (Manned, Unmanned), & Forecast, 2023-2032, Global Market Insight

²⁴ Il tasso annuo di crescita composto, più comunemente noto come CAGR dall'acronimo anglosassone Compounded Average Growth Rate, rappresenta la crescita percentuale media di una grandezza in un lasso di tempo, Borsa Italiana, Milano 2022.

mercato, ma ha anche avanzato notevolmente dal punto di vista tecnologico. Questo ritorno dimostra la capacità del settore di adattarsi alle sfide e di innovare, segnalando una robustezza e una vitalità che superano le difficoltà iniziali imposte dalla pandemia.

Strumenti di analisi: SWOT – PESTEL

Ricordando che l'idea imprenditoriale in questione si basa sulla creazione di un nuovo tipo di propellente solido fotopolimerizzato nell'ambito della propulsione aerospaziale, per alimentare motori di razzo, ma può essere adattato anche alla propulsione di sistemi relativi a dispositivi quali airbag o estintori, saranno di seguito presentate due analisi volte ad evidenziare i punti di forza e di debolezza della tecnologia, nonché le minacce e le opportunità provenienti dall'ambiente esterno e tutte le influenze derivanti dalle sfere politica, economica, legale, sociale, ambientale e tecnologica.

Come emerso dalle ricerche precedenti, l'industria aerospaziale e l'ingegneria dei razzi sono in continua crescita. Tale fenomeno è generato dalle esigenze dell'esplorazione spaziale e dall'aumento dei viaggi commerciali nello spazio. L'introduzione di un propellente solido innovativo potrebbe rappresentare una vera e propria svolta nel settore, rendendo i motori a razzo più efficienti e affidabili.

Analisi SWOT

Dal momento che la tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato è un'invenzione nuova nel mercato, questo tipo di analisi permette di esaminare fattori interni ed esterni per ideare una strategia di successo al fine dell'inserimento nel mercato. La sua utilità risiede anche nel fatto che, non solo fornisce una visione di quelli che sono i vantaggi del progetto in questione, ma consente di osservare anche i comportamenti strategici dei competitors. L'analisi SWOT condotta ha individuato i seguenti fattori:

Punti di Forza (Strenghts): tra i punti di forza del propellente solido fotopolimerizzato sono stati individuati:

- **Vantaggio Brevettuale:** il possesso di un brevetto conferisce un'importante barriera all'ingresso per i concorrenti, consentendo di avere più controllo sulla commercializzazione del propellente e sull'innovazione.

- **Prestazioni e Sicurezza Migliorate:** il propellente solido fotopolimerizzato promette prestazioni superiori rispetto ai propellenti solidi tradizionali. Come ampiamente discusso in precedenza la nuova tecnologia consente la produzione di grani meno tossici e più sostenibili, con geometrie più complesse grazie all'eliminazione gli stampi dal processo produttivo, e costi di produzione inferiori. Tutti questi fattori possono essere intesi come vantaggiosi per l'inserimento nel mercato, specialmente in un settore altamente tecnologico come l'aerospaziale.

Punti di Debolezza (Weaknesses): come punti di debolezza della tecnologia è possibile citare i seguenti:

- **Investimenti Iniziali Elevati:** l'investimento iniziale richiesto per lo sviluppo di una soluzione che riesca a depositare quantità superiori di materiale, in modo da formare grani più grandi rispetto a quelle in scala da laboratorio, e per la commercializzazione potrebbe comportare una fase iniziale di rendimenti più bassi, richiedendo una gestione finanziaria oculata.
- **Limitata Capacità Produttiva Iniziale:** poiché la tecnologia e il suo processo produttivo sono nuovi sul mercato, la capacità produttiva iniziale sarà limitata. Di conseguenza, la generazione di economie di scala iniziale sarà contenuta.
- **Mancanza di notorietà:** al suo stadio iniziale la nuova tecnologia non godrà di diffusa notorietà come le tecnologie già affermate da anni e consolidate sul mercato.

Opportunità (Opportunities): alcune delle opportunità offerte dal mercato sono di seguito elencate:

- **Crescente Domanda di Viaggi Spaziali:** il crescente interesse e la domanda di viaggi spaziali offrono un mercato in crescita per propulsori innovativi e sicuri.
- **Interesse dell'Industria Aerospaziale:** l'industria aerospaziale è sempre alla ricerca di materiali più efficienti e sostenibili per migliorare le prestazioni dei veicoli spaziali. Il propellente fotopolimerizzato potrebbe diventare una scelta preferenziale in questo contesto.

Minacce (Threats): Le minacce derivanti dall'esterno potrebbero essere:

- **Concorrenza e Regolamentazione:** possibili ostacoli regolamentari e la competizione con propellenti consolidati potrebbero mettere a rischio l'adozione del nuovo prodotto. La necessità di aderire a rigorose norme di sicurezza potrebbe rallentare l'entrata sul mercato.
- **Limitazioni Finanziarie delle Fonti di Investimento:** la dipendenza da finanziamenti governativi o da organizzazioni spaziali potrebbe limitare la flessibilità finanziaria e la rapidità di adattamento alle esigenze di mercato.

Questa analisi SWOT approfondita del propellente solido fotopolimerizzato fornisce una panoramica dettagliata degli aspetti chiave che influenzeranno la sua introduzione sul mercato.

In *figura 7* sono riportati in modo schematico i punti sopra trattati:

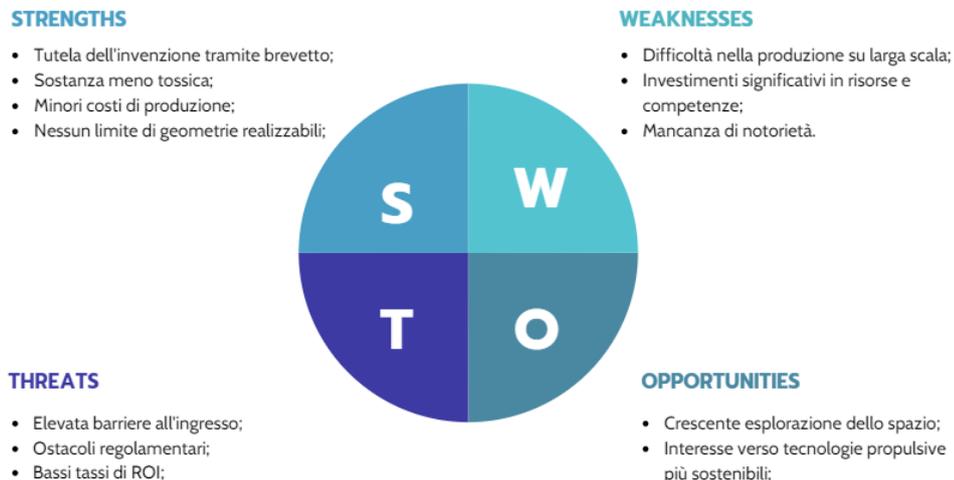


Figura 7. Analisi SWOT del propellente solido fotopolimerizzato nel settore aerospaziale

Analisi PESTEL

Questa ulteriore analisi permette di esaminare il macro ambiente esterno, fornendo una base solida per la pianificazione strategica, tenendo conto delle dinamiche esterne e migliorando la sua capacità di adattamento alle mutevoli condizioni del mercato. I principali fattori individuati sono di seguito riportati:

- **Politico-legale:** La necessità di ottenere l'approvazione da parte di enti governativi e regolatori rappresenta una variabile critica in merito alla sfera politica. Potrebbe

risultare necessaria l'approvazione da parte di enti governativi e regolatori per l'utilizzo del propellente fotopolimerizzato nei motori a razzo.

- **Economico:** L'industria aerospaziale richiede investimenti significativi, e lo sviluppo del propellente fotopolimerizzato non sarà da meno, data la rilevante portata tecnologica dell'invenzione. La complessità e l'innovazione del processo produttivo, potrebbe richiedere la creazione di dispositivi non ancora in commercio, che genererebbe una grande pressione finanziaria iniziale
- **Sociale:** L'interesse crescente per l'esplorazione spaziale potrebbe facilitare l'adozione di nuovi prodotti nel settore. La percezione del propellente fotopolimerizzato può essere fortemente influenzata dalla consapevolezza pubblica e dall'interesse per l'esplorazione spaziale.
- **Tecnologico:** L'utilizzo di nuovi materiali e tecnologie avanzate è cruciale per il successo del propellente fotopolimerizzato. Un costante impegno nella ricerca e sviluppo tecnologico sarà necessario per rimanere all'avanguardia nel settore aerospaziale in continua evoluzione.
- **Ambientale:** L'impatto ambientale del propellente deve essere valutato attentamente. La comparazione con propellenti tradizionali in termini di sostenibilità è critica, per cui l'adozione di carburanti verdi potrebbe aprire nuove opportunità di crescita. La sostenibilità è un fattore chiave nell'ambito delle decisioni aziendali, per questo motivo la minore nocività, data dall'esclusione degli isocianati all'interno della composizione del propellente solido fotopolimerizzato, potrebbe conferire un notevole vantaggio competitivo.
- **Legale:** Il brevetto conferisce protezione legale sui metodi e sui materiali utilizzati. La gestione di questo aspetto è fondamentale per preservare l'innovazione e impedire l'uso non autorizzato della tecnologia.

Ciascuno dei fattori sopra elencati viene regolamentato dall'European Aviation Safety Agency (EASA), ovvero l'agenzia dell'unione europea per la sicurezza aerea che svolge il compito di progettare ed emanare norme di attuazione nel settore aerospaziale, certificare e approvare prodotti e organizzazioni, cooperare con attori internazionali al fine di raggiungere la maggiore sicurezza per gli esseri umani e fornire supervisione e supporto agli stati membri²⁵.

²⁵ European Union Aviation Safety Agency, sezione "The Agency", <https://www.easa.europa.eu/en/the-agency/the-agency>

Questa analisi evidenzia le molteplici variabili che influenzano l'introduzione del propellente.

In *tabella 9* sono riportati in modo schematico i fattori individuati dall'analisi PESTEL:

P	E	S	T	E	L
Political	Economical	Social	Technological	Enviromental	Legal
<ul style="list-style-type: none"> • Necessaria approvazione degli enti governativi 	<ul style="list-style-type: none"> • Considerevoli investimenti in infrastrutture di produzione; • Ridotti costi di produzione; 	<ul style="list-style-type: none"> • Crescente interesse verso l'esplorazione spaziale; 	<ul style="list-style-type: none"> • Innovazione tecnologica avanzata; 	<ul style="list-style-type: none"> • Riduzione della tossicità; • Aumento della sostenibilità; 	<ul style="list-style-type: none"> • Protezione della proprietà intellettuale e tramite brevetto;

Tabella 9. Analisi PESTEL del propellente solido fotopolimerizzato nel settore aerospaziale

Strategie di inserimento

L'introduzione di tecnologia rivoluzionaria come il propellente solido fotopolimerizzato è un passo audace verso il futuro dell'esplorazione spaziale nel contesto dell'innovazione nel settore aerospaziale. Il successo di questa innovazione non dipende solo dalle sue capacità e unicità, ma anche dalla creazione di strategie intelligenti e mirate per il suo inserimento nel mercato.

In questa sezione verranno forniti alcuni spunti applicabili a delle possibili strategie che potrebbero guidare alla diffusione e all'adozione del nuovo propellente nell'industria aerospaziale. Dall'esplorazione di accordi di licenza con attori chiave all'identificazione di partnership strategiche e all'esplorazione di modelli di business flessibili, verranno fornite alcune soluzioni possibili per posizionare con successo questa innovazione in un mercato in continua evoluzione. L'obiettivo è creare un quadro strategico che sfrutti le nuove opportunità e le sfide che accompagnano l'introduzione di nuova tecnologia. Per contribuire a ridefinire le frontiere dell'esplorazione spaziale, questa analisi strategica mira a delineare il metodo più efficace per massimizzare l'impatto del propellente solido fotopolimerizzato sul mercato di riferimento.

Una delle strategie percorribili che presenta un approccio strategico che potrebbe essere particolarmente opportuno per l'inserimento nel mercato del propellente solido fotopolimerizzato è la strategia di differenziazione, metodo che si basa sulla creazione di un'offerta unica e distintiva che si differenzia chiaramente dai prodotti o servizi degli altri concorrenti.

Affinché la nuova tecnologia sia preferita alle altre bisogna che soddisfi alcuni requisiti specifici:

Requisiti tecnici: lo sviluppo e i test del propellente solido fotopolimerizzato rappresentano fasi critiche e fondamentali per garantire il successo dell'intera iniziativa. Affinché vengano soddisfatti i requisiti di performance, sicurezza e affidabilità, è necessario seguire un approccio metodico e rigoroso.

Requisiti legali: per garantire la conformità del propellente all'utilizzo nell'industria aerospaziale è essenziale ottenere tutte le approvazioni e certificazioni necessarie per conformarsi alle normative del settore.

Requisiti finanziari: Garantire risorse finanziarie adeguate nel lungo termine per sostenere completamente lo sviluppo, la produzione e la commercializzazione del propellente polimerizzato rappresenta un elemento chiave per il successo.

Requisiti di marketing: Elaborare una strategia di marketing mirata per promuovere in modo efficace il nuovo propellente presso il suo pubblico di riferimento.

Per raggiungere l'obiettivo di penetrazione nel mercato, è possibile considerare due approcci strategici: le collaborazioni strategiche, come partnership o integrazioni verticali, e l'opzione di concessione in licenza del brevetto.

La ricerca di aziende già affermate nell'industria aerospaziale al fine di costruire una partnership collaborativa per condividere risorse, competenze e ridurre i costi di sviluppo, produzione e commercializzazione può rafforzare la credibilità del propellente fotopolimerizzato e facilitare la sua adozione nel mercato

Un'altra strada percorribile è quella dell'integrazione verticale, approccio che implica l'assunzione di controllo diretto su diverse fasi della catena del valore, dallo sviluppo dei materiali alla produzione e distribuzione. Esplorare opportunità di integrazione verticale nell'ambito della produzione del propellente fotopolimerizzato, in questo caso, potrebbe comportare l'assorbimento della tecnologia all'interno di un'azienda che si occupa della produzione del prodotto, a partire dalle sue componenti fino ad arrivare al prodotto finito.

La concessione in licenza del brevetto a terze parti per l'utilizzo della tecnologia brevettata, al fine di sviluppare e vendere il propellente solido fotopolimerizzato utilizzando i metodi e i materiali brevettati, costituisce una strategia alternativa a quella collaborativa.

Comunicare in modo efficace il valore distintivo e i vantaggi del propellente fotopolimerizzato rispetto ai propellenti solidi tradizionali è cruciale per il suo posizionamento nel mercato aerospaziale e per favorire l'adozione da parte dei principali players del settore. La comprensione della tecnologia da parte del mercato può aumentare l'accettazione e l'interesse, per cui accrescere la notorietà della tecnologia e presentare ai target audience le caratteristiche chiave del propellente brevettato, può contribuire ad accelerare la divulgazione sul mercato. Alcune delle strategie di marketing volte a favorire tale processo sono:

- Utilizzare campagne pubblicitarie online e offline per raggiungere il target audience e aumentare la consapevolezza del prodotto.
- Partecipare alle principali fiere ed eventi inerenti all'industria aerospaziale per presentare l'invenzione e stabilire rapporti con potenziali clienti, condividere conoscenze e informazioni sulla tecnologia, rafforzando la percezione di innovazione e avanzamento.
- Crea materiali promozionali chiari e educativi per spiegare la tecnologia e il suo funzionamento.
- Utilizzare annunci su motori di ricerca, social media e siti web pertinenti per raggiungere il target audience.

Secondo l'International Trade Administration²⁶ (ITA) la strategia più efficace per entrare nel mercato consiste nel diventare fornitori di aziende di alto livello che sono alla ricerca di componenti certificati e che seguono rigorosi processi di selezione dei fornitori. L'ingresso nel mercato si basa sulla costruzione di relazioni solide, dove le pratiche di distribuzione e la competenza nel settore svolgono un ruolo cruciale e delicato.

L'idea di sviluppare un nuovo tipo di propellente solido polimerizzato rappresenta un'idea rivoluzionaria poiché potrebbe portare a dei cambiamenti significativi

²⁶ International Trade Administration, *Aerospace & Defense Resource Guide*, 2020-2021 edizione dell'Aerospace Resource Guide che fornisce informazioni sul mercato nazionale americano ricevute da esperti aerospaziali di tutto il mondo.

nell'industria aerospaziale. I motori a razzo grazie a questa innovazione possono offrire prestazioni migliori, maggiore sicurezza e una maggiore efficienza, aprendo nuove possibilità per l'esplorazione spaziale e i viaggi nello spazio.

Identificare e mirare a segmenti di mercato specifici consente di concentrare le risorse e gli sforzi nella direzione giusta, massimizzando così le opportunità di successo nel mercato aerospaziale con il propellente polimerizzato.

L'inserimento all'interno di un mercato deve tener conto anche delle cinque forze di Porter²⁷ al fine di valutare il proprio posizionamento strategico in relazione agli altri competitors attivi sul mercato. L'analisi delle cinque forze, per il caso specifico, è così articolata:

1. **Minaccia di nuovi entranti:** L'industria aerospaziale richiede investimenti considerevoli e infrastrutture specializzate, il che potrebbe ridurre la minaccia di nuovi entranti. La nuova tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato potrebbe sicuramente rappresentare una minaccia di ingresso nel mercato per le aziende già presenti.
2. **Potere contrattuale dei fornitori:** esso risulta potenzialmente elevato, soprattutto se si lavora con parti selezionate della catena di approvvigionamento dell'industria aerospaziale. Questo è dovuto al fatto che molto spesso i prodotti dell'industria aerospaziale siano complementari ai materiali forniti, come ad esempio il carburante (propellente), per cui i fornitori detengono un potere contrattuale elevato se i componenti forniti non possono essere sostituiti con altre alternative.
3. **Potere contrattuale dei clienti:** Potrebbe essere alto, poiché ci potrebbero essere diverse alternative di propellente per motori a razzo disponibili sul mercato.
4. **Minaccia dei prodotti sostitutivi:** i propellenti solidi tradizionali sono la principale soluzione attualmente utilizzata e consolidata, ma il nuovo propellente fotopolimerizzato potrebbe rappresentare un'alternativa più efficace in futuro.
5. **Intensità della rivalità tra concorrenti esistenti:** l'industria aerospaziale è altamente competitiva, con molti attori principali. Tuttavia, il vantaggio del brevetto e le prestazioni superiori del propellente possono aiutare a ridurre la rivalità.

²⁷ Il modello delle cinque forze è uno strumento utilizzabile dalle imprese per valutare la propria posizione competitiva. Il modello si propone di individuare le forze (e di studiarne intensità ed importanza) che operano nell'ambiente economico e che, con la loro azione, erodono la redditività a lungo termine delle imprese – Wikipedia 2023.

Capitolo 4

CONCLUSIONI

La ricerca condotta e descritta all'interno del presente elaborato ha riguardato l'analisi di mercato relativa ad una nuova tecnologia di propellente solido fotopolimerizzato. L'invenzione oggetto della tesi si è dimostrata essere una valida alternativa a quelle che sono le tecnologie attualmente consolidate e presenti in commercio. Le sue numerose caratteristiche vantaggiose contribuiscono a rendere il propellente solido fotopolimerizzato un'innovazione tecnologica in grado di competere ampiamente con le soluzioni in uso al momento.

Come esplicito nelle varie sezioni di questo elaborato, l'invenzione prodotta dal gruppo di ricerca apporta numerosi benefici tanto ai settori interessati dai propellenti solidi quanto all'ambiente circostante. Il propellente solido fotopolimerizzato, infatti, risulta essere un prodotto che si impegna a fornire alte prestazioni relativamente alla sua performance, risolvendo anche la problematica delle geometrie complesse, fino ad ora realizzabili solo attraverso l'ausilio di appositi stampi, e processi produttivi in forni a temperature controllate che prevedono costi non indifferenti. L'invenzione si impegna oltretutto a rendere il composto meno nocivo, grazie all'eliminazione di sostanze tossiche, come gli isocianati.

Tutte queste caratteristiche, racchiuse e protette da brevetto, contribuiscono a rendere la soluzione sviluppata appetibile da parte del mercato, il quale verte verso l'adozione di prodotti altamente tecnologici e sostenibili per l'ambiente e l'uomo.

Il settore aerospaziale rappresenta indubbiamente uno dei settori più redditizi e remunerativi dell'industria, ma al contempo è anche uno dei più difficili da penetrare. Questa sfida è principalmente attribuibile alla natura altamente specializzata e alla complessità delle tecnologie coinvolte. Le aziende in questo settore sono spesso restie a sostituire le tecnologie consolidate e affidabili attualmente in uso con soluzioni nuove e sconosciute. Le attuali tecnologie in uso potrebbero generare un effetto di "lock-in" per le aziende, poiché la specializzazione delle competenze acquisite e i costi associati all'investimento e al passaggio a nuove tecnologie potrebbero impedire un cambiamento fluido.

Il target audience principale per questa innovativo propellente solido fotopolimerizzato sono sicuramente le aziende e gli attori dell'industria aerospaziale, principali produttori

di motori a razzo. Queste aziende potrebbero essere interessate ad adottare la nuova tecnologia per migliorare le prestazioni dei loro razzi e raggiungere i loro obiettivi di viaggi spaziali più efficienti. Che sia per mezzo della concessione in licenza del brevetto o della partnership con le principali aziende del settore, la possibile strategia di inserimento nel mercato potrebbe offrire una solida base per una collaborazione sinergica. La condivisione di conoscenze e risorse attraverso accordi di licensing o partnership potrebbe accelerare lo sviluppo e l'implementazione del propellente solido fotopolimerizzato, garantendo nel contempo un vantaggio competitivo attraverso l'accesso a tecnologie all'avanguardia.

Una delle sfide incontrate da questa innovazione è la mancanza di una soluzione che possa produrre grandi volumi e geometrie adatte per soddisfare le specifiche capacità richieste per eseguire una missione spaziale. Una possibile definizione di tali accordi consentirebbe alle aziende di massimizzare i benefici reciproci, sfruttando al meglio le rispettive competenze e risorse per spingere l'innovazione e affrontare le sfide del settore aerospaziale in evoluzione.

Un ulteriore tema critico, che riguarda tutte le nuove invenzioni tecnologiche, è quello degli ingenti investimenti iniziali di ingresso nel mercato, poiché esso richiede un impegno finanziario significativo per la ricerca, lo sviluppo, la certificazione e l'implementazione su larga scala. Questi investimenti sono necessari per risolvere una serie di problemi, come la messa a punto dei processi produttivi e l'adeguamento alle normative stringenti del settore aerospaziale. Tuttavia, questi investimenti rappresentano un passo fondamentale per superare le sfide iniziali e creare una base solida per il successo a lungo termine nel mercato. Per questo motivo il ricorso alla collaborazione con aziende del settore o ad eventuali fondi derivanti da appositi enti, potrebbe essere vantaggioso per il perseguimento dell'obiettivo stabilito.

Riassumendo è possibile raggruppare le differenti strategie secondo i seguenti modelli di business:

Modello di business basato sulla vendita di prodotti: Vendita diretta del propellente polimerizzato alle aziende del settore aerospaziale.

Modello di business basato sui servizi: Fornire servizi di consulenza e assistenza tecnica alle aziende che adottano il propellente polimerizzato.

Modello di business basato su partnership: Collaborare con produttori di motori di razzo al fine di integrare direttamente il propellente polimerizzato nei loro prodotti.

Le conclusioni suggeriscono prospettive di sviluppo futuro promettenti per il propellente solido fotopolimerizzato. L'industria aerospaziale, benché inizialmente costosa, mostra un interesse crescente per tecnologie avanzate e sostenibili.

L'adattabilità, l'innovazione tecnologica e la risposta alle esigenze emergenti del settore potrebbero rendere il propellente fotopolimerizzato una forza trainante nell'evoluzione del modo in cui affrontiamo le sfide dello spazio.

SITOGRAFIA

https://en.wikipedia.org/wiki/2023_in_spaceflight

[Total space launches worldwide 2022 | Statista](#)

[Rocket Propulsion Market Size, Report, Share, Trends, Analysis](#)

[Propellenti compositi polimerizzati UV prodotti additivo per la propulsione di razzi | Knowledgeshare](#)

[Search Results | Avio](#)

[Capacità operative multi dominio in Aerospace, Defence & Security | Leonardo](#)

[Avio Business | Avio.com](#)

[Avio Aero, BEAMIT Group and GE Additive sign letter of intent regarding a strategic technology collaboration agreement | GE Additive](#)

[I distretti aerospaziali Europei](#)

[Industria aerospaziale - Wikipedia](#)

https://en.wikipedia.org/wiki/2022_in_spaceflight

https://en.wikipedia.org/wiki/2021_in_spaceflight

[Orbital launches in 2022 | Space Stats \(spacestatsonline.com\)](#)

[Development of Modern Solid Propellants | Journal of Propulsion and Power \(aiaa.org\)](#)

https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Previous_launches

<https://spaceimpulse.com/2023/06/13/how-much-does-rocket-fuel-cost/>

<https://www.expertmarketresearch.com/reports/rocket-propulsion-market>

<https://www.leonardo.com/it/suppliers/becoming-a-supplier/leonardo-group-purchases>

https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Launch_vehicles/Ariane_5_ECA

<https://patentimages.storage.googleapis.com/74/3f/41/9ae8ef92d4fdec/WO2020212785A1.pdf>

<https://www.caschp.com/edefault.aspx>

<https://heavymetalllc.com/>

https://it.wikipedia.org/wiki/Universit%C3%A0_di_Princeton

https://it.wikipedia.org/wiki/Universit%C3%A0_Jiaotong_di_Xi'an

<https://www.nagasechemtex.co.jp/en/company/business.html>

<https://www.gradlinkuk.com/employer-china&employer=xian-modern-chemistry-research-institute>

<https://it.wikipedia.org/wiki/ArianeGroup>

<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/7/1633>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/prep.201900387>

<https://www.tervesinc.com/overview/>

https://it.wikipedia.org/wiki/Aerojet_Rocketdyne

https://it.wikipedia.org/wiki/Goodrich_Corporation

https://id.wikipedia.org/wiki/Badan_Riset_dan_Inovasi_Nasional

https://fr.wikipedia.org/wiki/Hybrid_Propulsion_for_Space

<https://www.nof.co.jp/english/company/history>

https://it.wikipedia.org/wiki/Kia_Motors

https://it.wikipedia.org/wiki/Hyundai_Motor_Company

https://it.wikipedia.org/wiki/Ariane_5

https://www.avio.com/sites/avio.com/files/downloads/Avio%20Company%20Profile_0.pdf

[https://it.wikipedia.org/wiki/Vega_\(lanciatore\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Vega_(lanciatore))

[https://it.wikipedia.org/wiki/Sojuz_\(lanciatore\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Sojuz_(lanciatore))

[https://it.wikipedia.org/wiki/Sojuz_2_\(lanciatore\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Sojuz_2_(lanciatore))

[https://uibm.mise.gov.it/index.php/it/brevetti/brevetto-per-invenzione-industriale/la-classificazione-internazionale-dei-brevetti-ipc-international-patent-classification-accordo-di-strasburgo#:~:text=Accordo%20di%20Strasburgo-.La%20classificazione%20internazionale%20dei%20brevetti%20IPC%20\(International%20Patent%20Classification\).,brevetti%20e%20i%20modelli%20d'utilit%C3%A0.](https://uibm.mise.gov.it/index.php/it/brevetti/brevetto-per-invenzione-industriale/la-classificazione-internazionale-dei-brevetti-ipc-international-patent-classification-accordo-di-strasburgo#:~:text=Accordo%20di%20Strasburgo-.La%20classificazione%20internazionale%20dei%20brevetti%20IPC%20(International%20Patent%20Classification).,brevetti%20e%20i%20modelli%20d'utilit%C3%A0.)

<https://www.gminsights.com/industry-analysis/rocket-propulsion-market>

<https://www.linkedin.com/pulse/global-rocket-propulsion-market-size-worth-usd-1087-2032-narayankar/>

<https://www.linkedin.com/pulse/rocket-propulsion-market-2023-global-industry/>

<https://www.sphericalinsights.com/reports/rocket-propulsion-market>

https://amslaurea.unibo.it/5197/1/distefano_vittorio_tesi.pdf

http://dma.ing.uniroma1.it/users/aeroprop_c2/testolez17b.pdf

<https://webthesis.biblio.polito.it/23085/1/tesi.pdf>

<https://www.arianespace.com/vehicle/ariane-5/>

<https://www.trade.gov/aerospace-defense-market-resource-guide-italy>

<https://www.easa.europa.eu/en/regulations>

BIBLIOGRAFIA

W.J. Abernathy, J.M. Utterback, “A Dynamic Model of Process and Product Innovation”, 1975

W.J. Abernathy, J.M. Utterback, “Patterns of Industrial Innovation”, 1978

RINGRAZIAMENTI

Alla fine di questo breve ma intenso percorso mi sento di ringraziare chi nel suo piccolo ha contribuito, in modo differente, ad esserne parte.

Desidero in primo luogo ringraziare il Professor Federico Caviggioli, relatore di questo elaborato, per la disponibilità dimostrata.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, ed in particolare ai miei genitori, i quali hanno reso possibile sin dall'inizio il progredire di questo percorso, affiancandomi in tutte le scelte.

Ringrazio mio fratello, la metà di me, che più di tutti ha condiviso questo percorso con me.

Grazie alla mia amica Ana, che è sempre stata una costante nel corso di questo percorso, il mio punto di riferimento in qualsiasi momento; per aver sempre saputo consigliarmi e incoraggiarmi nel modo migliore. Grazie per avermi insegnato a coltivare le amicizie vere, le amicizie come la nostra.

Ringrazio Annalisa, mia sorella, per essermi da sempre vicino, anche da lontano. Con te ho condiviso qualunque cosa, e oggi, parte di questo traguardo, voglio dividerlo con te.

Un grazie di cuore a tutti i miei coinquilini, da quelli più recenti Alessia, Chiara, Francesca e Liz che sono state di fondamentale supporto, soprattutto durante la stesura di questa tesi, a quelli più datati, Cristian, Giulio, Ersilia, Elena ed Elisea, che hanno costituito una “seconda famiglia” fin dal primo giorno.

Grazie ai miei compagni dei “Progetop”: Andrea, Claudia, Mirco, Annalisa, Tapt, Roberto e Sandro per aver reso questi anni indimenticabili.

Ed infine ringrazio tutti i colleghi di KPMG, con i quali ho condiviso l'ultimo periodo di questo percorso.