



GIOIA MAURIZI

**LA NEW SPACE ECONOMY
TRA SOSTENIBILITÀ,
RICERCA E INNOVAZIONE**



aracne



ISBN
979-12-5994-568-6

PRIMA EDIZIONE
ROMA 9 NOVEMBRE 2021

A chi ha creduto in me

INDICE

- 9 Capitolo I
Definizioni e storia del settore spaziale
- 27 Capitolo II
Outlook mondiale
- 77 Capitolo III
Analisi del settore spaziale
- 123 Capitolo IV
La *New Space Economy* in Italia
- 151 Capitolo V
Il caso GMATICS
- 157 *Bibliografia*
- 163 *Sitografia*
- 173 *Ringraziamenti*

CAPITOLO I

DEFINIZIONI E STORIA DEL SETTORE SPAZIALE

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha definito la Space Economy come «una delle più promettenti traiettorie di sviluppo dell'economia mondiale dei prossimi decenni» (2016). In apparenza lontano, lo spazio è arrivato a far parte della vita quotidiana delle persone non soltanto sotto forma di oggetti derivanti dalla ricerca per applicazioni spaziali (*memory foam*, rilevatori di fumo, navigazione satellitare, apparecchi ortodontici trasparenti, lenti antigraffio e così via), ma anche nell'immaginario collettivo. A volte, sono state la letteratura e l'arte fantascientifica a ispirare la nascita di invenzioni reali, come è stato per le tute pressurizzate e i serbatoi multipli di stoccaggio del propellente (ESA, 2021). Il settore dello spazio si intreccia quindi alla società e all'economia, generando vantaggi e cambiamenti per una pluralità di soggetti.

L'elaborato ha l'obiettivo di capire come si è evoluta la Space Economy negli ultimi anni, come influenza la società, chi sono gli attori coinvolti e che ruolo hanno. Si partirà dal significato stesso di questo termine non sempre condiviso, fino ad arrivare ai principali trend e novità che guidano il settore odierno e futuro. «Lo spazio è ormai da tempo una super infrastruttura pervasiva e per definizione senza confini della quale ogni giorno cogliamo nuove e intrecciate potenzialità» (Roberto Battiston, Documento di Visione Strategica 2016–2025 dell'ASI). Per raggiungere l'obiettivo della ricerca è stata consultata la letteratura, consolidata e attuale, per poi analizzare il caso studio di un'impresa del Distretto Tecnologico Aerospaziale del Lazio e sottoporre un questionario-intervista al CEO. La letteratura mostra un settore caratterizzato da democratizzazione, influenzato dall'ingresso di molti attori privati lungo i segmenti della filiera produttiva e in particolar modo nell'ambito dei satelliti e dell'Osservazione della Terra. Si tratta perlopiù di società più piatte dal punto di vista gerarchico, altamente innovative e di piccole dimensioni. Rispetto al passato, il settore dello spazio non è più un modo di mostrare superiorità tecnologica alle altre Nazioni, ma dà luogo a rapporti di cooperazione, collaborazione e circolazione della conoscenza tecnologica e scientifica. Questa conoscenza è stata riutilizzata per applicazioni non spaziali, ma la ricerca mostra anche come molte tecnolo-

gie nate da altri settori abbiano influenzato lo spazio — come la stampa 3D o l’IoT — consentendo il passaggio a uno Spazio 4.0, sempre più automatizzato e interconnesso.

L’Italia vanta una lunga tradizione di eccellenze scientifiche e contributi ai progetti spaziali europei e internazionali ed è uno dei Paesi che ricorre (anche a livello regionale) allo strumento del Partenariato Pubblico Privato (PPP). I suoi 12 distretti tecnologici aerospaziali hanno generato importanti contributi all’economia e ai progetti spaziali nel mondo.

Se da un lato è un’opportunità per le nuove imprese, dall’altro lo spazio mostra delle criticità, come il problema dei detriti, della protezione e assicurazione dei satelliti, della nascita delle prime forze armate spaziali. È necessario identificare un quadro normativo che garantisca la pace, la sicurezza e al tempo stesso stimoli le imprese e le attiri nel settore.

L’elaborato si suddivide in quattro capitoli. Il primo affronta il problema di una definizione condivisa di “settore dello spazio” e di (New) Space Economy, sfruttando anche la classificazione industriale e le banche dati brevettuali. In seguito, cerca di ripercorrere brevemente e a grandi linee il tragitto della storia dello spazio dall’antichità al presente, con un maggiore focus sulle epoche più remote anziché considerare puramente il Novecento.

Il secondo capitolo analizza la ricerca consolidata e attuale sulla Space Economy, individuando le caratteristiche del fenomeno e i motivi della sua importanza socioeconomica e del rilancio negli ultimi anni fino a ciò che è stato definito “Rinascimento spaziale”, parlando degli sviluppi futuri per Marte. Viene poi illustrato il ruolo del management nelle imprese della Space Economy. A questo punto, la ricerca si focalizza sull’innovazione, parlando dei tratti peculiari rispetto al passato e del suo rapporto con il settore spaziale e l’economia. La Space Economy viene esaminata con le lenti dei principali trend, ovvero la trasformazione recente dei satelliti, le ricadute socioeconomiche, la rivoluzione digitale, il contributo dell’esplorazione spaziale e dell’acquisizione di nuove conoscenze scientifiche, il rapporto bilaterale tra Space Economy e mondo dell’istruzione, l’impatto sull’occupazione e la questione di genere, fino ad analizzare il concetto di “sostenibilità spaziale”. Infine, si analizzano gli effetti del COVID-19 sull’industria spaziale e quelli dell’industria spaziale sul COVID-19 per capire come si sono influenzati a vicenda.

Il terzo capitolo offre un'analisi del settore dello spazio, preso in maniera separata dal settore dell'Aerospazio e della Difesa, al quale viene tipicamente unito dalla reportistica e dalla ricerca. Dopo aver individuato i trend di settore e i tradizionali segmenti, si procede con l'analisi delle cinque forze competitive di Porter, affrontando anche il problema della molteplicità di attori e concorrenti (pubblici e privati) e quello dei beni sostitutivi. Dato che il settore dello spazio ha subito una profonda trasformazione negli ultimissimi anni, si ripercorre anche la dinamica evolutiva e il cambio di paradigma che ha portato allo Spazio 4.0. Si procede con l'analisi di mercato, andando a individuare i fattori critici di successo e facendo due segmentazioni, una per prodotto e servizio e una per area geografica.

Il quarto capitolo si concentra sulla Space Economy nostrana, fornendo i principali dati sul suo valore e cenni storici. Si esamina il Piano Strategico della Space Economy, che orienta la politica spaziale italiana fino al 2030, con un focus sul programma Copernicus e la relazione con Horizon 2020. Si procede con l'approfondimento del tessuto di soggetti coinvolti (centri spaziali, grandi società private e PMI, enti di ricerca, associazioni industriali, istituzioni e autorità competenti). La seconda metà del capitolo è dedicata a una breve esplorazione dei distretti tecnologici aerospaziali nazionali, che sono ben dodici, soffermandosi in particolar modo sul DTA della Regione Lazio. Infine, viene presa in considerazione GMATICS, una start-up del distretto attiva nel settore del monitoraggio satellitare integrato alle nuove tecnologie come l'Intelligenza Artificiale e il Cloud Computing. L'elaborato contiene l'intervista posta al CEO di GMATICS, l'Ing. Marcello Maranesi.

La ricerca è limitata allo studio dei Paesi OCSE e può essere utile in futuro espandere e arricchire la segmentazione geografica. Inoltre, si potrebbero studiare le altre agenzie spaziali al di là di quelle principali, cercando di capire le interazioni con le industrie locali ed eventuali sviluppi futuri.

Secondo l'autore e editorialista scientifico Giovanni Caprara (2019), il mondo sta assistendo ad un "Rinascimento spaziale", "dove l'esplorazione, la scienza e la tecnologia sono diventate anche motore significativo di sviluppo economico concretizzando la nuova dimensione della Space Economy" (p. 8). Il rapporto tra umanità e spazio si è sviluppato dall'antichità al presente dando origine a diversi benefici economici, occupazionali e tecnologici. Oggi, un prodotto creato per l'utilizzo spaziale può essere funzionale anche in altri ambiti e, viceversa, un bene creato

per i mercati terrestri può opportunamente convertirsi per essere impiegato nello spazio. Inoltre, la Space Economy è in rapido cambiamento e ha solidificato il rapporto con la crescita e lo sviluppo dei Paesi.

La Space Economy è stata considerata dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE, 2019) come un fattore di sviluppo economico sia per la conoscenza scientifica acquisita, sia per promuovere la crescita socioeconomica anche nelle economie emergenti.

Prima di esplorare gli effetti della Space Economy, tuttavia, è necessario risalire alla sua definizione e a quella dell'ambito del settore spaziale. In questo capitolo introduttivo, l'elaborato presenterà dei cenni di storia aerospaziale ed evoluzione dell'attuale settore.

1.1. Definire il settore e le attività spaziali

In base al punto di vista dell'OCSE, è complicato fornire una definizione univoca delle attività spaziali, essendo presenti in molteplici campi della tecnologia e della scienza, come l'astronomia, l'aerospazio, la meteorologia, le scienze atmosferiche, le ricerche sul clima, le nanotecnologie e altri campi multidisciplinari ed emergenti.

Una delle sfide principali riguarda la sovrapposizione intrinseca che vi è tra l'aerospazio e le tecnologie spaziali. Per Weiss e Amir (1999):

L'industria aerospaziale è impegnata nella ricerca, sviluppo e produzione di veicoli di volo, inclusi alianti e alianti non motorizzati, velivoli più leggeri dell'aria (come i dirigibili) e più pesanti dell'aria (sia ad ala fissa che ad ala rotante, come l'aeroplano e gli aerei militari), missili (e razzi), veicoli di lancio spaziale e veicoli spaziali (con e senza pilota). [...] Sono inclusi anche i principali sottosistemi di veicoli di volo come la propulsione e l'avionica (elettronica per l'aviazione) e i sistemi di supporto chiave necessari per test, funzionamento e manutenzione dei veicoli di volo. Inoltre, il settore aerospaziale è impegnato nella creazione di prodotti e sistemi non aerospaziali che utilizzano la tecnologia spaziale.

Una definizione che si basa sulle caratteristiche delle attività spaziali stabilisce, invece, che: "Il settore aerospaziale include tutti gli attori coinvolti nell'applicazione sistematica di discipline scientifiche e ingegneristiche all'esplorazione e all'utilizzo dello spazio, un'area che si estende oltre l'atmosfera terrestre" (OCSE, 2012). Secondo l'OCSE, questa definizione risulta restrittiva se si esaminano le tendenze degli

ultimi anni, come, ad esempio, l'ingresso di soggetti privati e l'applicazione di prodotti del settore aerospaziale in altri settori.

In generale, secondo il Centro Estero per l'Internazionalizzazione del Piemonte (2009), il settore aerospaziale:

[...] Comprende due distinti ambiti di ricerca e applicazione: il settore dell'aeronautica, ovvero tutto ciò che riguarda il volo e il trasporto (umano o di materiali) entro l'atmosfera terrestre (aviazione, avionica, ingegneria aeronautica, aerei civili e militari, elicotteri) e il settore dello spazio, ovvero tutte quelle attività che si sviluppano al di fuori dell'atmosfera terrestre, con scopi prevalentemente di ricerca e osservazione planetaria (satelliti di osservazione, navigazione, shuttle, telecomunicazioni).

Inoltre, “un'ulteriore classificazione del settore aerospaziale è quella tra il settore civile e quello della difesa (militare)”. Per l'OCSE, la necessità di un confine chiaro tra “aerospaziale” e “spaziale” diventa rilevante ai fini della disciplina legale, come nel caso delle attività spaziali commerciali con passeggeri a bordo. Il presente elaborato si soffermerà su tutto ciò che riguarda l'ambito spaziale.

1.II. La classificazione industriale

Le classificazioni industriali internazionali, nazionali e regionali possono fornire indizi sull'appartenenza di una data impresa al settore spaziale, sebbene le imprese che compongono le filiere produttive e le loro attività siano spesso variegate. La produzione di veicoli per lo spazio in Italia si accompagna, infatti, all'attività di ricerca, alla produzione di componenti, ai software e ai servizi.

In Italia, l'ISTAT ha redatto la classificazione nazionale delle attività economiche ATECO 2007 (sostitutiva di ATECO 2002), composta da combinazioni alfanumeriche nelle quali le lettere indicano il macrosettore di appartenenza e i numeri le categorie specifiche. In ordine di dettaglio, è articolato in sezioni, divisioni, gruppi, classi, categorie e sottocategorie. L'articolo 224 della legge 17 luglio 2020, n. 77 ha richiesto una versione aggiornata della classificazione ATECO, che è stata rilasciata a partire dal 1° gennaio 2021. I motivi della revisione sono da imputare all'emergenza epidemiologica e alla necessità di riclassificare merceologicamente le attività inerenti alle colture idropo- niche e acquaponiche (ISTAT, 2020).

Nella tabella seguente sono stati raccolti gli attuali codici ATECO ricollegabili alle attività spaziali, ricercati tramite gli strumenti di individuazione messi a disposizione dal sito dell'ISTAT:

Tabella 1. Classificazione ATECO per le imprese spaziali.

Codice	Attività e descrizione
30	<i>Fabbricazione di altri mezzi di trasporto:</i> Questa divisione include la fabbricazione di mezzi di trasporto quali navi ed imbarcazioni, di materiale rotabile ferro–tranviario e locomotive, aeroplani, veicoli spaziali e di loro parti.
30.3, 30.30, 30.30.0, 30.30.09	<i>Fabbricazione di aeromobili, di veicoli spaziali e dei relativi dispositivi:</i> – Costruzione di aeroplani per il trasporto di merci e passeggeri, per le forze armate, per lo sport o altri usi; – Costruzione di elicotteri; – Costruzione di alianti, deltaplani; – Costruzione di dirigibili e palloni aerostatici; – Costruzione di parti ed accessori degli aeromobili di questa categoria: grandi assemblaggi quali fusoliere, ali, sportelli, superfici di controllo, carrelli di atterraggio, serbatoi, carlinghe, eliche, rotori e pale di rotori per elicotteri; – Costruzione di motori per aeromobili; – Costruzione di parti di turboreattori e turbopropellori per aeromobili; – Costruzione di simulatori di volo; – Costruzione di veicoli spaziali e relativi veicoli di lancio, satelliti, sonde spaziali, stazioni orbitali, navette spaziali – revisione e conversione di aeromobili o motori di aeromobili; – Attività di impiantistica aeronautica; – Costruzione di aerei da combattimento.
33.16, 33.16.0, 33.16.00	<i>Riparazione e manutenzione di aeromobili e di veicoli spaziali:</i> – Riparazione e manutenzione di aeromobili (esclusa la revisione strutturale e la ricostruzione industriale); – Riparazione e manutenzione di motori per aeromobili.

51.22.00	<i>Trasporto spaziale:</i> – Lancio di satelliti e veicoli spaziali; – Trasporto spaziale di merci e passeggeri.
84.22.00	<i>Difesa nazionale:</i> – Attività di amministrazione, supervisione e gestione della difesa militare delle forze armate terrestri, navali, aeree e spaziali [...]; – Amministrazione delle politiche di ricerca e sviluppo e dei relativi fondi, concernenti la difesa nazionale.

Fonte: elaborazione propria su dati ISTAT (2020).

Il codice predominante è quello del 30.30.09 (Intellectual Property Financial Institute, 2012), ovvero “Fabbricazione di altri mezzi di trasporto”. La classificazione sembra non essere del tutto esaustiva quando si considera l’eterogeneità delle imprese coinvolte nel settore. Considerando, ad esempio, i dati sul Distretto Aerospaziale Piemontese (2012), su un campione di 64 imprese locali solo 8 sono state considerate appartenenti al settore, mentre altre non rientrano in un codice ATECO specifico, pur producendo apparecchiature destinate all’utilizzo aerospaziale.

I.III. Individuare le attività spaziali tramite la proprietà intellettuale

All’interno della banca dati di brevetti EspaceNet (2020) è stato possibile ricercare le categorie più ricorrenti alle quali appartengono la maggior parte dei brevetti direttamente collegati all’utilizzo aerospaziale. Istituito nel 1836, EspaceNet contiene oggi più di cento milioni di brevetti nazionali e internazionali (Ufficio Brevetti, 2020). Tramite la ricerca è stato fornito un elenco di attività inerenti allo spazio basandosi sulla proprietà intellettuale (vedasi tabella) che non intende essere esaustivo poiché, come riportato nei precedenti paragrafi, molte attività e prodotti non sono classificati come meramente aerospaziali. Dall’art. 45 del Codice della Proprietà Industriale si evince che sono brevettabili invenzioni appartenenti a ogni settore tecnico ad eccezione di scoperte scientifiche e metodi matematici, principi, metodi chirurgici, software, programmi di elaboratore, presentazioni di informazioni e razze animali.

Tabella 2. Classificazione brevettuale delle imprese spaziali.

Codice di classificazione brevettuale	Voce
B60	Vehicles in general (Transporting)
B	Performing operations; transporting
B64	Aircraft; aviation; cosmonautics
B64G	Cosmonautics; vehicles or equipment therefor
E21C 51/100	Apparatus for, or methods of, winning materials from extraterrestrial sources
G01C	Measuring distances, levels or bearings; surveying; navigation; gyroscopic instruments; photogrammetry or videogrammetry

Fonte: Elaborazione propria su dati EspaceNet (2020).

I.IV. Definizione di *Space Economy*

La *Space Economy* è definita come “l’intero range di attività spaziali e i relativi *spillover*¹, che apporta conoscenza e benefici alla società in generale” (OCSE, 2012, p. 21). Questo concetto si rivela più ampio del settore aerospaziale e comprende prodotti, servizi, obiettivi programmatici, impatto prodotto, attori coinvolti e creazione di valore, ma anche i soggetti che svolgono le attività di Ricerca & Sviluppo – come laboratori e università —, il ruolo dell’esercito (come investitore nella ricerca e come cliente di servizi spaziali) e i programmi di esplorazione.

La definizione dell’Ufficio delle Comunicazioni Strategiche della NASA (2007), invece, si riferisce alla *Space Economy* come “l’intero range di attività e l’utilizzo di risorse che creano e forniscono valore e benefici all’umanità nel corso dell’esplorazione, della comprensione e dell’utilizzazione dello spazio”.

Il Segretariato dell’OCSE fornisce una definizione orientata alla catena del valore (OCSE, p. 22):

¹ Lo *spillover* è un «fenomeno per cui un’attività economica volta a beneficiare un determinato settore o una determinata area territoriale produce effetti positivi anche oltre tali ambiti. Il termine è usato inoltre per indicare la diffusione di situazioni di squilibrio da un mercato all’altro» (Treccani, 2020). Nell’ambito dell’elaborato ci si riferisce alla prima definizione.

La *Space Economy* include: tutti gli attori pubblici e privati coinvolti nello sviluppo e fornitura di prodotti e servizi per lo spazio. Comprende una lunga catena del valore, che inizia con gli attori che svolgono ricerca e produttori di hardware spaziali (come veicoli di lancio, satelliti, stazioni terrestri) e che finisce con i fornitori di prodotti per lo spazio (come strumenti di navigazione e telefoni satellitari) e servizi, fino agli utenti finali.

Il Ministero dello Sviluppo Economico italiano (2018) adotta una prospettiva analoga, affermando che la *Space Economy* sia “la catena del valore che, partendo dalla ricerca, sviluppo e realizzazione delle infrastrutture spaziali abilitanti, cosiddetto *upstream*, arriva fino alla generazione di prodotti e servizi innovativi “abilitati”, cosiddetto *downstream* (servizi di monitoraggio ambientale previsione meteo, etc.)”.

Le componenti della catena del valore della *Space Economy* dipendono dall’area geografica e dalle attività specifiche ma, in generale, l’OCSE delinea degli elementi ricorrenti (2012):

1. Centri di Ricerca & Sviluppo, laboratori e università, siano essi pubblici o privati, che intervengono tramite contratti o agenzie governative;
2. Produttori, non solo intesi come grandi società ma anche piccole, queste ultime in aumento dai primi anni Duemila;
3. Operatori, come fornitori di segnale satellitare ma anche di contenuti digitali;
4. Fornitori di servizi di informazione.

Secondo l’Agenzia Spaziale Italiana (2020), le tecnologie, le innovazioni e gli strumenti spaziali, come i servizi satellitari di osservazione e posizionamento, diventano dei veri e propri asset che soddisfano i bisogni della società e monitorano la Terra. Il settore spaziale non dipende più esclusivamente dalle istituzioni: l’ingresso di soggetti e investitori privati ha dato luogo a una «rivoluzione culturale che ridefinisce il rapporto pubblico/privato» (ASI, 2020). Il settore spaziale si intreccia con altri settori, quindi, favorendo una circolazione di innovazione, conoscenza, tecnologie. Dal commercio all’industria, dalla società alla ricerca, “sempre più si assiste ad una commistione (*cross-fertilization*)², o

² La *cross-fertilization*, nota anche come *cross-fertilizzazione* o *fertilizzazione incrociata*, consiste nella “mescolanza di idee, costumi, ecc. di diversi luoghi o gruppi di persone per produrre un risultato migliore” (Cambridge Dictionary, 2021).

fertilizzazione incrociata) degli ambiti tecnologici terrestri con quelli spaziali”.

La *New Space Economy* è riferita alla crescente partecipazione diretta delle società private dai primi anni Duemila (Orlova *et al.*, 2020), che ha influito anche su settori esterni a quello spaziale. Secondo Saverio Calderoni (2015), la New Space non è solo l’apertura alla commercializzazione — già presente da anni —, ma anche un fenomeno culturale e filosofico.

Secondo Denis *et al.* (2019) il termine “New Space” implica che ci sia un “*old space*”. Per gli autori, la definizione della Space Frontier Foundation, ovvero «Persone, business e organizzazioni che lavorano per aprire la frontiera spaziale all’insediamento umano attraverso lo sviluppo economico» è generica e rivolta a un orizzonte troppo lontano. Gli autori citano anche il termine “*Alt space*”, che è stato utilizzato per indicare un approccio “alternativo” allo spazio, riferito allo sviluppo del segmento commerciale e all’ingresso degli imprenditori privati. Ad ogni modo, le diverse terminologie si riferiscono a un generale distacco rispetto alla tradizione, che può riferirsi a nuove leggi, minacce, tecnologie, catene del valore e via discorrendo. Il cambiamento del settore spaziale non si è verificato solo in termini di nuove tecnologie, ma anche di modelli di business, orientandosi maggiormente verso i servizi, modelli di *pricing*, co-design e organizzazioni agili.

Nella catena del valore del settore spaziale, rappresentata dall’OCSE (2012), si trova una coesistenza di attori interni ed esterni. Nel primo raggruppamento vengono ricompresi centri di Ricerca e Sviluppo istituzionali e industriali oltre al tessuto di imprese e fornitori, ma anche laboratori e università. Del secondo, invece, fanno parte soggetti come fornitori di servizi di informazione, consegna al dettaglio o sviluppatori di attrezzature da terra.

1.v. Dai fochi d’artificio alla Space Economy

Nel 1380, nel mezzo della lunga guerra tra la Repubblica Marinara di Genova e quella di Venezia, che si contendevano il controllo dei commerci con il Levante, fa la sua comparsa il primo razzo costruito dall’uomo (Caprara, 2019). Chioggia, città veneziana occupata dai genovesi, sta per essere riconquistata dalle truppe del doge Andrea Contarini. La battaglia infuria al punto che partecipano anche dei preti armati e viene attaccata la torre della città dove si è rifugiato Ambrogio

Doria, al comando dei genovesi. Lo storico Ludovico Muratori scrive: «Pure una rochetta fu tirata nel tetto della torre de si fatto modo, que il tetto s'accese» (citato in Caprara, p. 12, 2019).

Questo nuovo strumento era nato in Cina e veniva considerato un fuoco d'artificio per lo svago. Alcuni alchimisti cinesi avevano scoperto la polvere pirica nel Duecento, per caso, mescolando delle sostanze in ricerca dell'elisir di lunga vita. Il "razzo" non era altro che l'accensione della polvere da sparo in una canna di bambù chiusa da un lato. È stato Berthold Schwarz, alchimista e consulente militare del doge Contarini, a progettare le "rocchette incendiarie". Il loro nome deriva dalla somiglianza che avevano con la rocca per filare la lana. Col tempo, "rochetta" verrà ripreso dai francesi con "*roquette*", dai tedeschi con "*rakete*", dagli inglesi con "*rocket*" e dai russi con "*raketa*". In Italia si parlerà, successivamente, di "racchetta"³ e "razzo".

Nel Quattrocento, la pirotecnica viene usata per scopi militari ma, soprattutto, per spettacoli, allestimenti, aristocrazia e occasioni di festa, come l'elezione di un nuovo papa a Castel Sant'Angelo. Con l'avvento della stampa compaiono numerosi manuali e trattati che diffondono conoscenze.

Durante l'Illuminismo, invece, la disciplina subisce un rinnovamento e viene affrontata con rigore scientifico tipico del secolo. La scuola pirotecnica italiana si afferma come la più importante a livello internazionale.

Con la Rivoluzione francese si rafforzano l'approccio scientifico di calcoli e meccanismi precisi e l'utilizzo bellico. I fuochi d'artificio diventano simboli adoperati in guerra e riferimenti alla morte. Le intuizioni di Isaac Newton (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687) sulla dinamica e sul principio di azione e reazione diventano "le basi teoriche della propulsione a razzo" (p. 23).

È dell'Ottocento il razzo bellico in metallo, ad opera degli Indiani durante la guerra contro i britannici a Seringapatam, India meridionale. Questo strumento veniva qui utilizzato molto più che in Europa, dove prevaleva l'arma da fuoco. Fu William Congreve Junior, personaggio britannico di spicco nel mondo dell'artiglieria, a ridare importanza a

³ Alterazione di "rochetta". Questa parola viene utilizzata ancora oggi per indicare i razzi di segnalazione (Treccani, 2020) e un apparecchio che lancia e direziona i razzi da segnali, più noto come "governale".

Occidente, aprendo una fabbrica nel 1805 a Woolwich sotto l'approvazione di re Giorgio IV. Congreve Junior promuove i propri razzi negli altri Stati esaltandone le qualità, dichiarate migliori rispetto ai cannoni. A quel punto, le potenze europee procedono con l'introduzione, la sperimentazione e dei razzi nelle proprie forze belliche. Nel 1830, re Carlo Felice emette un decreto per formalizzare l'impiego nelle operazioni belliche reali, seguito dai provvedimenti migliorativi di Carlo Alberto del 1831. In questo periodo sono i razzi austriaci, tuttavia, a distinguersi rispetto ai concorrenti. Lo Stabilimento dei Razzi da Guerra austriaco (*Kriegs-Raketen-Anstalt*) diventa «il più grande [...] polo industriale europeo dell'Ottocento» (p. 33). Nel frattempo, a San Pietroburgo cresce l'interesse per questa tecnologia. Vengono studiati i prototipi austriaci su interesse dello zar Alessandro e prodotte delle versioni innovative nei laboratori di artiglieria russi.

A partire però dalla seconda metà dell'Ottocento, il razzo bellico subisce un declino. I cannoni vengono migliorati da innovazioni che li rendono nuovamente i preferiti e i più precisi in guerra. Oltre ciò, comportano minori costi e facilità di conservazione. In questo modo, Austria, Francia, Italia e Inghilterra smettono di utilizzare i razzi in guerra.

È il matematico Paolo Ruffini a studiare i meccanismi dei razzi Congreve e a pubblicare l'indagine teorica nel 1833. Il triestino Francesco de Grisogono, però, scrive *Sulla possibilità di viaggiare gli spazi celesti. Studio basato sopra la scoperta dell'oscillante, un mezzo fisico per volare nel vacuo* (1883). In quel periodo storico, la scoperta dei “canali di Marte” (1877) ad opera di Giovanni Schiaparelli aveva dato luogo a ipotesi e speculazioni su forme di vita extraterrestri. Visionario e appassionato di astronautica, Grisogono ipotizza un propulsore oscillante in grado di sfruttare la forza centrifuga per superare l'atmosfera della Terra e, al tempo stesso, pensa alla vita spaziale, dalle scorte di cibo al riscaldamento. L'idea del propulsore per la navigazione nello spazio viene rivendicata sia dai francesi Mass e Drouet sia dal professore genovese Alfio Di Bella e dal collega bergamasco Mario Todeschini. Altrettanto contesa tra vari studiosi è l'idea di impiegare, negli anni successivi, i razzi Congreve sotto un pallone aerostatico da manovrare in modo manuale.

L'ingegnere milanese Enrico Forlanini inizia ad applicare i razzi ad alcuni prototipi di aeroplani. Fa decollare il primo aeroplano italiano a razzo senza pilota nel 1890.