

# Revisione e consolidamento delle linee strategiche di Ricerca e Innovazione - Ambito di sviluppo “Aerospazio”



**REVISIONE E CONSOLIDAMENTO  
DELLE LINEE STRATEGICHE DI RICERCA  
E INNOVAZIONE – AMBITO DI SVILUPPO  
“AEROSPAZIO”**



UniorPress  
Napoli 2021

**UniorPress**

Via Nuova Marina 59, 80133 Napoli



This work is licensed under a Creative Commons  
Attribution 4.0 International License

Questo volume è disponibile in accesso aperto al sito:  
<http://www.fedoabooks.unina.it/index.php/fedoapress>

ISBN 978-88-6719-203-8

# Indice

<b>Presentazione</b> .....	3
<b>Sommario</b> .....	5
<b>1. Introduzione e Lista degli Acronimi</b> .....	6
<b>2. Il Quadro delle Tematiche della RIS3 Campania</b> .....	10
2.1 Metodologie, processi e sistemi per nuove configurazioni e componenti per il volo.....	18
2.2 Sistemi di bordo, comunicazioni e sistemi per la difesa.....	37
2.3 Propulsione ed Efficienza energetica .....	57
2.4 Tecnologie per lo spazio .....	65
2.5 Health management e manutenzione di strutture e sistemi .....	91
<b>3. Programmi di Ricerca e Sviluppo Nazionali e Comunitari</b> .....	105
3.1 La Pianificazione ACARE.....	106
3.2 Clean Sky e l’Aeronautica Sostenibile.....	111
3.3 SESAR e lo Spazio Aereo Unico.....	115
3.4 Programma Nazionale di Ricerche Aerospaziale.....	120
3.5 Il CIRA e gli altri Centri di Ricerca Aerospaziale in Europa.....	122
3.6 NLR - Olanda .....	125
3.7 DLR - Germania .....	128
3.8 ONERA - Francia .....	129
3.9 INTA - Spagna .....	130
3.10 Agenzia Spaziale Europea (ESA).....	131
3.11 Agenzia Spaziale Italiana .....	137
3.12 SPIN-IT Space Innovation in Italy .....	139
<b>4. Aggregazioni Industriali e Trasferimento Tecnologico</b> .....	141
4.1 Il Cluster Tecnologico Nazionale .....	141
4.2 Il Cluster Tecnologici Nazionali .....	150
4.3 Distretto Aerospaziale delle Midlands .....	160

4.4 Associazioni Industriali Nazionali e Comunitarie in Aeronautica.....	165
4.5 Enti di Vigilanza .....	167
<b>5. Il Potenziale Produttivo della Regione nelle aree della RIS3 .....</b>	<b>171</b>
5.1 Analisi delle metodologie per il censimento e l'analisi delle aziende della Regione Campania.....	171
5.2 Sintesi dei Risultati .....	173
<b>6. Valutazione dei Risultati della Ricerca e Priority Setting.....</b>	<b>179</b>
6.1 I principali indicatori adottati in letteratura .....	180
6.2 Principali metodologie adottate nella valutazione dei progetti di ricerca applicata .....	181
6.3 Possibili criteri per il priority setting nell'Aerospazio in Campa- nia.....	186
<b>7. Un Sistema di Supporto alle Decisioni .....</b>	<b>187</b>
7.1 Le attività di Progetto de L'Orientale .....	187
7.2 Le principali fonti dati sulla filiera dell'Aerospazio .....	190
7.3 La Valutazione degli impatti delle Scelte Pubbliche.....	191
7.4 Il modello del problema decisionale .....	192
7.5 Il DSS per la generazione e valutazione del Programma .....	195
7.6 Il modello di ottimizzazione multi-obiettivo .....	196
7.7 I risultati della sperimentazione del modello .....	199
7.8 I risultati della simulazione .....	203
<b>Conclusioni .....</b>	<b>207</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>209</b>

## **Presentazione Prospettive di sviluppo della Ricerca Aerospaziale in Campania**

Nel sistema economico della Regione Campania la filiera produttiva aerospaziale riveste un ruolo di primissimo piano rappresentando un elemento di sviluppo del territorio sia in termini di presenza industriale, sia per l'elevato contenuto delle conoscenze tecnologiche richieste dai processi produttivi. Ai grandi operatori si affianca un tessuto di piccole e medie aziende subfornitrici in grado di utilizzare le tecnologie, implementare i processi produttivi, garantire gli standard tecnici di qualità e di precisione richiesti dall'industria aerospaziale.

Gli studi condotti da SRM (Studi e Ricerche per il Mezzogiorno) evidenziano come, in quest'ambito, la Campania sia subito dopo la Lombardia, la regione d'Italia con il più elevato volume di fatturato e la prima per numero di dipendenti. La Campania da sola esprime una quota di mercato del 22%, giusto di due punti percentuali inferiore alla Regione Lombardia. Ciò ha determinato l'opportunità della costituzione, nel 2012, del Distretto Aerospaziale della Campania (DAC), con il preciso obiettivo di stimolare la collaborazione tra Centri di Ricerca, Università e Aziende per creare concrete opportunità di business e continue occasioni di crescita e innovazione in un territorio fortemente rivolto all'aerospazio.

Il dominio tecnologico-produttivo Aerospazio investe prioritariamente i settori industriali dell'Aeronautica, dello Spazio e della Difesa. Le traiettorie che caratterizzano il dominio dell'Aerospazio nei processi di sviluppo innovativo e trasferimento tecnologico avranno come oggetto soluzioni e applicazioni in grado di rispondere in modo complementare a quattro grandi sfide che la società pone e dalle quali attende benefici, a livello complessivo sociale ed economico: Competitività economica e sostenibilità sociale; Mantenimento e sviluppo della leadership industriale; Sostenibilità ambientale e Safety and security.

Il lavoro del tavolo CUR sull'Aerospazio, ha proceduto ad un approfondimento dei trend di sviluppo tecnologico e di ricerca del settore così come declinati nei documenti ufficiali di Agenzie internazionali e nazionali e della Commissione Europea. Con riferimento alle aree individuate nei documenti della RIS3 Campania, si è proceduto dunque a un'analisi delle aree di sviluppo tecnologico e delle potenzialità delle traiettorie tecnologiche prioritarie

individuate dalla Programmazione Regionale. Per ciascuna delle tematiche ritenute rilevanti per la Regione, si sono analizzate opportunità e le minacce, punti di forza e debolezza al fine di orientare e supportare l'azione amministrativa nelle scelte degli strumenti più adeguati da mettere in campo per potenziare la Ricerca e l'Industria aerospaziale in Campania. È stata condotta sia un'analisi delle linee strategiche di Ricerca Aerospaziale a livello nazionale ed Europeo, analizzando la strutturazione dei programmi e la metodologia con cui sono state elaborate le scelte delle tematiche da finanziare, sia un'analisi dei modelli di organizzazione dei principali distretti aerospaziali a livello Europeo con particolare riferimento all'interazione tra strutture di Ricerca e Sviluppo e Industria e all'intervento dei governi nazionali e regionali. Inoltre, sono stati evidenziati i ruoli dei principali attori coinvolti nella dinamica di sviluppo delle tecnologie e dei prodotti legati all'aerospazio, le metodologie per la valutazione della ricerca ed una panoramica sui processi e sui sistemi messi in campo nella produzione legata all'aerospazio. Infine, si è lavorato sugli aspetti legati all'impatto economico territoriale, come sistema di supporto alle decisioni all'amministrazione regionale.

La Campania punta alla realizzazione e gestione di un modello industriale a rete in grado di progettare soluzioni competitive e proporle sul mercato a livello nazionale e internazionale e su questo il DAC, sposa un modello di sviluppo legato al consolidamento ed all'integrazione delle capacità di tutte le anime industriali del territorio della Campania: aviazione commerciale, aviazione generale, spazio e vettori, manutenzione e trasformazione. La capacità di integrare tutte le anime della filiera tecnologica e produttiva mettendole in relazione con la ricerca consente di creare un modello nuovo basato su una progettualità che garantisce un'autentica prospettiva strategica. Tale obiettivo è consentito anche dalla costruzione di un modello di Governance innovativo in grado di garantire la rappresentanza necessaria a ciascun soggetto ed al tempo stesso di utilizzare un sistema di gestione collaborativo di project & knowledge management su cui tutti i partner operano autonomamente ma con una visione integrata.

## Sommario

L. Blasi<sup>1</sup>, A. Marino<sup>1</sup>, M. Mattei<sup>1</sup>, L. Mauriello<sup>1</sup>, I. Notaro<sup>1</sup>, P. Pariso<sup>1</sup>  
A.E. Tirri<sup>2</sup>, I. Quinto<sup>2</sup>, C. Ponsiglione<sup>2</sup>, M. Grassi<sup>2</sup>, D. Accardo<sup>2</sup>, G. Ruffino<sup>2</sup>, A. Renga<sup>2</sup>, G. Fasano<sup>2</sup>, A. Moccia<sup>2</sup>  
G. Del Core<sup>3</sup>, T. Pirozzi<sup>3</sup>, L. Toscano<sup>3</sup>  
F. Caiazzo<sup>4</sup>, V. Alfieri<sup>4</sup>, P. Argenio<sup>4</sup>  
M.M. Savino<sup>5</sup>, P. Ragno<sup>5</sup>  
A. Lopes<sup>6</sup>, M. Rostirolla<sup>6</sup>, P. Rostirolla<sup>6</sup>

Questo volume descrive i risultati di un progetto di ricerca finanziato dalla Regione Campania per aumentare la sua capacità amministrativa nel sostenere lo sviluppo regionale nel settore aerospaziale. Vengono dapprima analizzate le condizioni al contorno e le prospettive offerte dai progressi scientifici e tecnologici più recenti e interessanti. La Campania ha un'antica tradizione sia nell'aeronautica che nello spazio e sia la ricerca che l'industria sono attive in questi campi dall'inizio del secolo scorso. Dopo una revisione dei principali temi considerati strategici nella strategia di specializzazione intelligente RIS3, la pianificazione dell'Unione Europea viene analizzata con particolare attenzione ai principali programmi di ricerca. Vengono quindi esaminati i modelli organizzativi per lo sviluppo delle ricerche che coinvolgono industrie, centri di ricerca, università e governi locali. Viene poi fatta una breve panoramica del contesto produttivo della Campania. Sono inoltre riassunti i possibili metodi per valutare l'impatto della ricerca scientifica. Infine, poiché l'intero progetto è stato realizzato a sostegno dell'amministrazione regionale, viene proposto un sistema di supporto alle decisioni, implementato dal gruppo di ricerca.

---

<sup>1</sup> Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli".

<sup>2</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

<sup>3</sup> Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

<sup>4</sup> Università degli Studi di Salerno.

<sup>5</sup> Università degli Studi del Sannio di Benevento.

<sup>6</sup> Università degli Studi di Napoli "L'Orientale".

# 1. Introduzione e Lista degli Acronimi

Il presente volume riassume i risultati di un progetto, finanziato dalla Regione Campania nell'ambito del POR Campania FSE 2014-2020 e di un accordo dell'Ente con le Università campane. Tale progetto ha avuto come obiettivo principale quello di fornire all'amministrazione regionale elementi di conoscenza e competenze di carattere tecnico scientifico per favorire un miglioramento nella governance multi-livello e nella capacità amministrativa e tecnica relativamente ai programmi di intervento pubblico nel settore dell'Aerospazio. Il progetto offre all'amministrazione elementi ulteriori per implementare la Programmazione Regionale.

Nel corso delle attività, sviluppatasi su un arco temporale di 18 mesi (giugno 2018-dicembre 2019), le Università hanno elaborato diversi documenti mirati al raggiungimento dei seguenti due obiettivi specifici.

*Ob1.* Caratterizzazione dei percorsi di sviluppo a livello sovraregionale, delle traiettorie tecnologiche prioritarie individuate nell'ambito della RIS3 Campania e comparazione dei processi di priority setting a supporto della specializzazione intelligente per il settore aerospaziale. Il raggiungimento di questo obiettivo ha richiesto un ampliamento della base di conoscenza del sistema della ricerca campano e delle principali esperienze maturate a livello nazionale ed internazionale.

*Ob2.* Analisi di benchmarking degli strumenti a supporto delle politiche in materia di RS&I e sviluppo economico. Tale obiettivo è finalizzato all'identificazione delle *best practices*, a livello comunitario, nei processi di attuazione delle politiche in materia di RS&I del settore dell'Aerospazio.

Il volume è organizzato come segue.

Nel Capitolo 2 sono analizzate le traiettorie tecnologiche delineate dalla RIS3 Campania e, per ognuna di esse, sono messe in luce alcune delle ricerche più attuali, le tecnologie più rilevanti e le potenzialità della regione Campania nell'attuazione di politiche di sviluppo in quell'area.

Il Capitolo 3 descrive i principali programmi Europei negli ambiti dell'Aeronautica-Aviazione da un lato e dello Spazio dall'altro, mettendo in evidenza gli enti di Ricerca più rilevanti e le loro organizzazioni e politiche di sviluppo. Le aggregazioni di industrie-enti di ricerca, rivolte al trasferimento tecnologico dei risultati della ricerca sono discussi nel Capitolo 4 con particolare riferimento ai distretti tecnologici e ai cluster europei. Nel Capitolo 5 è svolta un'analisi del potenziale produttivo della Campania con particolare riferimento alle aree individuate dalla RIS3 Aerospazio. Il Capitolo 6 offre una panoramica sulle metodologie di valutazione dei risultati della ricerca e qualche spunto sugli indica-

tori per valutare le politiche di investimento nel comparto aerospaziale. Il Capitolo 7 è invece dedicato alla descrizione di uno strumento di supporto alle decisioni messo a punto per aiutare il decisore politico nell'allocazione delle risorse. Alcune conclusioni sono riportate nel Capitolo 8.

### Lista degli Acronimi

A-CDM	Airport Collaborative Decision Making
AEA	All Electric Aircraft
AES	Advanced Electric System
AHRS	Attitude & Heading Reference System
ANS	Air Navigation Services
ANSP	Air Navigation Services Provider
AOC	Airline Operational Communications
APM	Aircraft Performance Model
APR	Aeromobile a Pilotaggio Remoto
APU	Auxiliary Power Unit
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance & Control System
ATM	Air Traffic Management
BADA	Base of Aircraft Data
BLOS/BVLOS	Beyond Line Of Sight / Beyond Visual Line Of Sight
CAS	Control Augmentation System
CDM	Collaborative Decision Making
CIRA	Centro Italiano Ricerche Aerospaziali
CNS	Communication Navigation & Surveillance
CROR	Contra Rotating Open Rotor
DAA	Detect And Avoid
DAP	Distretto Aerospaziale Piemonte
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DFS	Deutsche Forschungsanstalt für Segelflug
DI	Dipartimento di Ingegneria
DIME	Database Integrity Monitoring Equipment
DLR	Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt
DME	Distance Measuring Equipment
DOF	Degree Of Freedom
DTA	Distretto Tecnologico Aerospaziale (Regione Puglia)
EASA	European Aviation Safety Agency
EATMA	European ATM Architecture
EATMN	European Air Traffic Management Network
ECAA	European Common Aviation Area
ECS	Environment Control System
EDA	European Defence Agency
EHA	Electro-Hydrostatic Actuator
EMA	Electro-Mechanical Actuator
ENAC	Ente Nazionale per l'Aviazione Civile

ENAV	Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo
EPDS	Electric Power Distribution System
EREA	Association of European Research Establishments in Aeronautics
ESA	European Space Agency
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures
FAB	Functional Airspace Blocks
FADEC	Full Authority Digital electronic Engine Control
FBW	Fly By wire
FCI	Future Communication Infrastructure
FDI	Fault Detection & Isolation
FDIR	Fault Detection Isolation & Reconfiguration
FPGA	Field Programmable Gate Array
GN&C	Guida Navigazione & Controllo
GNC	Guida Navigazione e Controllo
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPGPU	General-Purpose computing on Graphics Processing Units
GPS	Global Positioning System
HALE	High Altitude Long Endurance
HAP	High Altitude Platform
HMD	Head Virtual Display
HPC	High Performance Computing
IAP	Integrated Actuator Package
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Instrument Landin System
IMU	Inertial Measurement Unit
INS	Inertial Navigation System
IT	Information technology
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JTI	Joint Technology Initiative
JU	Joint Undertaking
KET	Key Enabling Technologies
KPI	Key Performance Indicator
LCA	Life Cycle Assessment
LOS	Line Of Sight
LTA	Lighter Than Air
MEA	More Eelectric Aircraft
MEMS	Micro Electro-Mechanical Systems
MISE	Ministero dello Sviluppo Economico
MIUR	Ministero dell'Istruzione, dell'Università e Ricerca
MRO	Maintenance, Repair and Overhaul
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NATMIG	North European ATM Industry Group
NCIT	Japan National Institute for Information and Communications Technology
NDB	Non Directional Beacon
NLR	National Aerospace Laboratory

NOx	Nitrogen oxides
OEM	Original Equipment Manufacturer
PERSEUS	una associazione Europe ache riguarda la formazione universitaria
PNR	Piano Nazionale della Ricerca
PPP	Public-Private Partnership
PRORA	Programma nazionale di ricerche aerospaziali
REACH	EU regulation concerning chemical substances and their risks
RIA	Research and Innovation Action
RIS	Research and Innovation Strategies for Smart Specialisation
RPAS	Remotely-Piloted Aircraft System
RPAS	Remotely-Piloted Aircraft System
SAA	Sense And Avoid
SAEC	SESAR European Airports Consortium
SAS	Stability Augmentation System
SBAS	Satellite-Based Augmentatin System
SES	Single European Sky
SES	Single European Sky
SESAR	Single European Sky ATM Research
SESAR	Single European Sky ATM Research
SINTEF	Stiftelsen for Industriell og Teknisk Forskning
SJU	Joint Undertaking SESAR programme
SME	Small and Medium Enterprise
SNSI	Strategia Nazionale Specializzazione Intelligente
SPF	Stratospheric PlatForm
SPIRES	Sustainable Process Industry through Resources and Energy – an EU PPP
SRIA	Strategic Research and Innovation Agenda
SRL	Skills Readiness Level
STRIA	Strategic Transport Research and Innovation Agenda
TRL	Technology Readiness Level. Standard metrico da TRL-1 a TRL-9. TRL6 è considerate l'ultimo livello per lo sviluppo tecnologico laddove TRL7-9 riguardano il ciclo di sviluppo del prodotto.
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCLV o Unicampania	Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli"
Unina	Università degli Studi di Napoli "Federico II"
Unior	Università degli Studi di Napoli "L'Orientale"
Uniparth	Università degli Studi di Napoli "Parthenope"
Unisa	Università degli Studi di Salerno
Unisannio	Università degli Studi del Sannio di Benevento
USS	Unmanned Service Supplier
UTM	Unammed Traffic Management
VFR	Visual Flight Rules
VLOS	Visual Line Of Sight
VOR	Very high frequency Omnidirectional Radio range

## 2. Il Quadro delle Tematiche della RIS3 Campania

Con la RIS3 la Regione Campania ha definito la strategia per uno sviluppo sostenibile e inclusivo del contesto campano, fondato sull'integrazione del sistema dell'innovazione con quello produttivo-economico e socio-istituzionale. Tale strategia è basata sulla scelta di priorità legate al potenziamento e allo sviluppo di domini produttivo-tecnologici particolarmente promettenti e candidati a rappresentare le aree di specializzazione su cui concentrare le risorse disponibili. Tra questi compare anche il dominio dell'Aerospazio che vanta una storica tradizione nella regione.

Nell'ambito della RIS3 Campania il documento [1] guida nella definizione delle azioni da implementare per il raggiungimento di obiettivi capaci di legare la ricerca e l'innovazione allo sviluppo economico e sociale, secondo nuove modalità operative quali: partecipazione diffusa degli attori locali dell'innovazione al processo di identificazione di ambiti di intervento, obiettivi e azioni; attivazione di processi di scoperta imprenditoriale e lo sviluppo di contesti favorevoli per l'*open innovation*; selezione di priorità rispetto ad ambiti di intervento ben caratterizzati; adozione di una prospettiva sovregionale per il perseguimento di vantaggi competitivi differenziali e difendibili nelle catene del valore internazionali; applicazione di pratiche innovative per l'implementazione e il monitoraggio della strategia nel medio periodo.

Partendo dagli ambiti tecnologici di riferimento RIS3 Campania per l'Aerospazio [2], vengono definiti le condizioni di contesto per i percorsi di sviluppo a livello sovregionale con riferimento alle traiettorie tecnologiche prioritarie individuate. Ove ritenuto rilevante, viene altresì riportata un'analisi delle opportunità e delle minacce per lo sviluppo di tali traiettorie in Campania. Per un'analisi più dettagliata si rinvia al Deliverable D1 del progetto sviluppato [3].

Sviluppo di metodologie per l'integrazione dei componenti strutturali e di componenti di motori aeronautici con la progettazione e le relative simulazioni di processo di produzione
Configurazioni innovative di velivoli inclusa l'integrazione di sistemi propulsivi ibridi ed elettrici
Componenti certificati ETSO (carrelli, interiors, attuatori mecatronici, sistemi di protezione al crash, ecc..)
Tecnologie (es. superleghe) e processi di lavorazione a più elevata produttività (es. microfusione a cera persa) per la produzione di pale di turbine
Trattamento di protezione superficiale e sistemi di protezione avanzati (es. Sviluppo e Certificazione di sistemi di protezione dal ghiaccio)

Tecniche di manufacturing basate su Additive Layer Manufacturing e delle tecniche di ripristino avanzate (es. laser cladding, cold spray e altre di tipo additivo)
Fabbrica 4.0 per l'aeronautica e lo spazio (es. reingegnerizzazione dei processi, utilizzo del Cloud, Big Data, stampa 3D, manifattura additiva dal nano al macro)
Metodologie per la Multi Disciplinary Optimization

**Tabella 1** – *Quadro delle Traiettorie Tecnologiche relative all'ambito di applicazione "Metodologie, processi e sistemi per nuove configurazioni e componenti per il volo".*

Sistemi e loro integrazione (es. sistemi auto-riconfigurabili, ATM/traffic insertion, sense and avoid, smart sensor e sensor fusion, iperspettrale, ...), Swarming a Pilotaggio Remoto
Tecnologie e sistemi di gestione del comportamento cooperativo di UAV ed integrazione in TLC e sistemi Manned
HW e SW per l'implementazione del Single European Sky (e.g. sense and avoid, separazione, sistemi di potenziamento del posizionamento, etc.)
Sistemi di guida navigazione e controllo autonomi avanzati, miniaturizzati e light weight, anche per le altissime velocità
Sistemi di telecomunicazione Superficie-Velivolo e Velivolo-Satellite, componenti TLC airborne miniaturizzati e light weight
Visione sintetica ed aumentata per la navigazione avanzata, specie per le altissime velocità
All electric aircraft (ivi inclusi sistemi per velivoli con propulsori ibridi ed elettrici)
Sistemi per il monitoraggio avanzato la sorveglianza del territorio, confini, ed infrastrutture di trasporto, per la neutralizzazione a distanza di velivoli o imbarcazioni
Virtual design & testing nell'ambito delle fasi di qualifica ed omologazione di parti, componenti e sistemi
Sistemi di interazione uomo-macchina
Ergonomia nella gestione dei velivoli, nelle centrali di controllo e monitoraggio
Sistemi avanzati di training per l'addestramento del personale di volo

**Tabella 2** – *Quadro delle Traiettorie Tecnologiche relative all'ambito di applicazione "Sistemi di bordo, comunicazioni e sistemi per la difesa".*

Motori a pistoni per aviazione leggera e generale
Sviluppo di sistemi di iniezione e sistemi di controllo motore (EECU – FADEC) per motori a pistoni con carburanti diesel, Jet A1, AVGAS e MOGAS
Motori e sistemi propulsivi innovativi ibridi ed elettrici
Sistemi di controllo della potenza, in grado di modificare automaticamente il settaggio ed il controllo del motore in funzione di carico, condizioni di volo, stato della macchina
Sistemi secondari di produzione e distribuzione dell'energia (APU, alimentazione in aeroporto, etc.)
Sviluppo di tecnologie "riblets" per il miglioramento dell'efficienza aerodinamica, realizzate con tecniche di litografia interferometrica

Sviluppo di pale di turbina innovative a struttura equiassica e monocristallina a più elevata castability e tecniche di analisi (es. vibrazionali)
Sistemi di raffreddamento più efficienti anche mediante lo sviluppo di anime ceramiche innovative

**Tabella 3** – *Quadro delle Traiettorie Tecnologiche relative all’ambito di applicazione “Propulsione ed Efficienza energetica”.*

Micro-piattaforme satellitari multi-purpose, anche aviolanciabili, con capacità di rientro e riconfigurabili
Tecnologie abilitanti per l’aviolancio sulla base di sistemi aerei nazionali esistenti, e per sistemi satellitari distribuiti basati su nano/micropiattaforme (Costellazioni, Formation Flying e Swarming)
Studio di configurazioni di spaziplani di classe business per voli super/ipersonici suborbitali e/o stratosferici
Strutture hot integrate e multifunzionali, incluso raffreddamento semi-passivo
Piattaforma Stratosferica Lighter Than Air
Avionica per operazioni autonome fault tolerant, in particolare per il volo ipersonico.
Batterie intelligenti per energy harvesting
Strutture innovative, e.g. deployable, anisogrid
Miniaturizzazione di payloads per piccoli satelliti
Sistemi integrati di propulsione (ibrida, elettrospray ionico) per micro-nanosatelliti
Studi di propulsione primaria (e.g. endoreattori a combustibili liquidi, esoreattori a ciclo combinato tipo turbo-ramjet per volo a Mach 4-5)
Sistemi di simulazione e sperimentazione ambiente marziano (e.g. serre per l’agroalimentare, robot)
Sistemi di sensori integrati per il servizio in orbita e/o volo in formazione e/o rimozione attiva del debris. Sensori multi-funzione.
Sistemi integrati per lo Space Situational Awareness, anche basati sul riuso di soluzioni disponibili per usi duali.
Sistemi per il monitoraggio avanzato per la sorveglianza e sicurezza del territorio/confini, ed infrastrutture di trasporto, di aree urbane
Sistemi radar ad apertura sintetica basati in configurazione distribuita su più piccole piattaforme aerospaziali operanti in formazione
Tecnologie innovative e strumenti per l’osservazione della terra, diagnostica atmosferica e climatologia.
Tecnologia LIDAR
Sistemi integrati innovativi a costo e peso ridotto per il controllo del traffico aereo, la meteorologia e i movimenti in aree di sorveglianza estese e ristrette, per esempio con utilizzo di smart agent

**Tabella 4** – *Quadro delle Traiettorie Tecnologiche relative all’ambito di applicazione “Tecnologie per lo spazio”.*

Intelligent Health Monitoring & Management System: sviluppo di sistemi e/o loro integrazione, sviluppo di metodologie per la definizione dei criteri di soglia e di gestione funzionale anche in caso di allontanamento dalle condizioni nominali (diagnosi e prognosi)
Tecnologie ottiche innovative di tipo shearography, olografico e termografico per controlli non distruttivi
Inferenziazione, tecnologie ITC (mobile) e Robotica per Real-Time Interdisciplinary Maintenance (i-Maintenance)
Tecnologie e sistemi basati su realtà virtuale (augmented reality) per il miglioramento dei processi di manutenzione (e.g. DSS), con l'utilizzo degli smart agent
Tecniche di intelligenza artificiale per il supporto al sistema decisionale e utilizzo dei big data della MRO e supporto alle operations della MRO

**Tabella 5** – *Quadro delle Traiettorie Tecnologiche relative all'ambito di applicazione "Health management e manutenzione di strutture e sistemi".*

## 2.1 Metodologie, processi e sistemi per nuove configurazioni e componenti per il volo

### 2.1.1 Sviluppo di metodologie per l'integrazione dei componenti strutturali e di componenti di motori aeronautici con la progettazione e le relative simulazioni di processo di produzione<sup>1</sup>

Il processo tradizionale di progettazione e produzione di un aeromobile è multidisciplinare e coinvolge ambiti diversi dell'ingegneria, dai materiali allo scambio termico, dall'aerodinamica alla verifica dell'integrità strutturale, dal controllo di qualità dei componenti alla loro tecnologia di fabbricazione. Tale approccio trasversale dal punto di vista delle competenze non è cambiato nel tempo, anzi la moderna industria aerospaziale subisce un'evoluzione continua che determina il ricorso, in misura sempre maggiore, all'ingegneria collaborativa, con accesso agli strumenti più avanzati di progettazione, analisi e simulazione della produzione [4]. Più nello specifico, l'integrazione tra metodi innovativi di progettazione e tecniche di simulazione della produzione è il passo che ha permesso di superare molti vincoli tradizionali e spingere l'innovazione verso nuovi e ambiziosi traguardi. È dimostrato [5] che questa filosofia ha determinato importanti sviluppi strategici in ambiti diversi, quali aerodinamica, termodinamica, costruzione di macchine, metallurgia e tecnologia, branche cruciali per diversi settori industriali e in particolare per il settore dell'aerospazio che ne ha beneficiato soprattutto per lo sviluppo sia di componenti strutturali, sia di componenti per motori.

---

<sup>1</sup> Università degli Studi di Salerno.

L'integrazione fra progettazione e produzione è pertanto oggetto di una tematica moderna denominata *Design for Manufacturing* [6]. È utile segnalare che tale disciplina trova una valida e concreta applicazione nel campo della produzione attraverso *Additive Layer Manufacturing* (ALM) e nel campo dei materiali compositi [7]. In entrambi i casi, progettazione e produzione sono intimamente intrecciate per effetto della possibilità di generare materiali e strutture complesse in cui le proprietà vengono convenientemente graduate mediante pori, vuoti o celle di dimensione e numero opportuno nel caso dell'ALM, mediante fibre di rinforzo di lunghezza e frazione desiderata nel caso dei materiali compositi.

I vantaggi tangibili dell'ingegneria collaborativa nel settore aerospaziale sono da anni documentati dalla Nasa [8]; la filosofia è stata poi adottata anche dalle maggiori multinazionali operanti nel settore dell'aerospazio e, di riflesso, dai loro fornitori. Non sorprende quindi che l'integrazione di progettazione e produzione per l'aerospazio sia anche uno dei temi individuati nell'ambito del progetto europeo *Clean Sky*, poi rilanciato in *Clean Sky 2*, finanziato nel programma Horizon 2020, con la missione di individuare e analizzare tutte le misure più opportune finalizzate alla riduzione sia delle emissioni di CO<sub>2</sub> sia della rumorosità di aeromobili, in linea con i fabbisogni identificati dall'*Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe* (ACARE) [9]. L'investimento totale è di 4 miliardi di euro, la durata dei progetti è individuata su un orizzonte temporale di 7 anni. Alle azioni nel contesto di *Clean Sky* partecipano partner di caratura internazionale come Boeing, Airbus, Lockheed Martin, Northrop Grumman.

Dalla ricerca effettuata in rete emerge che diverse aziende e società d'ingegneria hanno trovato il proprio core business in questo settore, ovvero esistono aziende operanti in ambito internazionale, per esempio Siemens e General Electric, a contatto con i settori del trasporto civile e della difesa, che si sono specializzate nell'ottimizzazione di componenti strutturali specifici sulla base di simulazioni integrate nel processo di progettazione.

La multidisciplinarietà in progettazione e produzione non rappresenta una novità per l'industria, tuttavia nella sua forma attuale potrà difficilmente rispondere ai requisiti di evoluzione e innovazione spinta dell'aerospazio. La necessità di dover studiare e approntare nuove forme di integrazione e *Design for Manufacturing* rappresenta in questo senso un'opportunità di investimento, il che è testimoniato dai progetti di ricerca documentati già avviati e dagli sforzi che numerose aziende stanno già compiendo. È opportuno tuttavia segnalare che per il raggiungimento del traguardo in questo ambito è necessaria l'integrazione fra PMI e grandi player.

### 2.1.2 Configurazioni innovative di velivoli inclusa l'integrazione di sistemi propulsivi ibridi ed elettrici<sup>2</sup>

Se è vero che la *progettazione concettuale* dei velivoli in ambito civile ha ormai delle tecniche e delle soluzioni ben assestate, la spinta verso l'abbattimento dell'impatto ambientale sta dando un forte impulso alla ricerca e all'innovazione in questo campo. È per questo motivo che anche il programma CleanSky (si veda il Par.0) sta investendo da anni sull'argomento.

Se facciamo riferimento ai velivoli Regionali, CleanSky ha, ad esempio, finanziato lo studio di configurazioni innovative che prevedono l'integrazione di tecnologie analizzate dalla Green Regional Aircraft Joint Technology Initiative (JTI-GRA). Gli obiettivi da raggiungere erano relativi a: soluzioni strutturali a basso peso e semplificazione delle parti, in modo da ridurre il consumo di carburante e l'impatto ambientale associato; riduzione del rumore associato a elementi critici come carrelli di atterraggio, dispositivi di sollevamento e specifiche configurazioni di aeromobili; adozione di soluzioni aerodinamiche avanzate per ridurre la resistenza e aumentare l'efficienza aerodinamica [10] [11]; *Load Alleviation* basato sul controllo attivo e passivo di elementi mobili al fine di limitare i carichi di manovra, in modo da ottimizzare la progettazione strutturale dell'ala e ottenere un risparmio in termini di peso; adozione di soluzioni elettriche (*All o More Electric Aircraft*) che potenzialmente migliorano l'efficienza operativa dei sistemi di bordo, semplificano i costi di manutenzione, e riducono il consumo di carburante e le emissioni poiché più efficienti rispetto alle soluzioni tradizionali.

Nell'ambito dei progetti Clean Sky2 per l'area *Large Commercial Aircraft*, sono invece particolarmente studiate soluzioni tecnologiche che riguardano l'integrazione di propulsori a elevato *bypass ratio* [12] e CROR (Contra Rotating Open Rotor); ultrafan; sistemi propulsivi ibridi [13], [14], [15], [16]. Inoltre, sono studiate nuove soluzioni di integrazione dei carrelli (e.g. Body Landing Gear [17]) e su altri sistemi o aspetti legati alla funzionalità e al comfort.

Significativi sono gli studi su configurazioni maggiormente innovative basate sul concetto della Best Wing System di Prandtl [18], o sul Blended Wing Body (BWB) [19] [20], [21], su velivoli STOL (Short Take Off & Landing) e VTOL (Vertical Take Off & Landing) che rappresentano alternative interessanti soprattutto perché permettono di collegare e raggiungere zone non provviste di aeroporti o di lunghe piste di atterraggio. In quest'ultimo ambito il programma Fast Rotorcraft IADP [22] di Clean Sky 2 prevede lo sviluppo

---

<sup>2</sup>Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli" e Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

di due velivoli dimostrativi ad ala rotante, con caratteristiche differenti: il NextGenCTR (Next Generation of Civil Tilt-Rotor), convertiplano sviluppato da Leonardo Helicopters, in collaborazione con 40 partner europei; il RACER (Rapid And Cost-Effective Rotorcraft) .

Lo sviluppo di una nuova configurazione necessita di conoscenze approfondite su tutti gli aspetti progettuali, costruttivi e di messa in esercizio del velivolo, per cui molto spesso coinvolge più di una singola azienda, università o centro di ricerca.

La costituzione di partenariati pubblici-privati, come ad esempio la Clean-Sky JTI, permette anche alle aziende più piccole, con capacità tecniche specifiche, di ricevere investimenti e di ampliare le proprie conoscenze in questo campo.



**Figura 1** – Alcune configurazioni innovative di velivoli. A partire da in alto a destra in senso orario: Prandtl Plane; NextGenCTR; RACER; velivolo sviluppato nell'ambito del progetto AHED.

In Campania la presenza d aziende aeronautiche che progettano interi velivoli o che lavorano per i big player (Leonardo Velivoli in primis), determina un buon tessuto industriale per lo sviluppo di questa tematica. D'altra parte, la presenza di Università e centri di ricerca permette di affermare che nella regione sono presenti anche le conoscenze di base per affrontare la tematica.

Tra le opportunità per il suo sviluppo si segnalano: la necessità di ridurre le emissioni inquinanti e i livelli di rumore; la creazione di partenariati come CleanSky JTI; gli investimenti da parte della Comunità Europea e l'esistenza di progetti già ben avviati a livello mondiale. Punti di forza sono: la presenza sul territorio di attori con esperienze e competenze necessarie; la possibilità di collaborare con partner internazionali; la prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università. Sono punti di debolezza: il contesto industriale caratterizzato principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende; la limitata partecipazione degli attori campani nei progetti europei su questo tema.

### *2.1.3 Componenti certificati ETSO<sup>3</sup>*

La certificazione ETSO (European Technical Standard Order) riguarda una parte o un singolo componente che può essere impiegato in un aeromobile civile, indipendentemente da una specifica installazione.

Quasi tutti i componenti impiegati su un velivolo possono essere certificati secondo l'European Technical Standard Order. Sebbene l'installazione sull'aeromobile richieda poi una successiva certificazione (certificato di tipo), per i componenti certificati ETSO, la procedura per ottenere la certificazione di tipo è molto più snella e veloce [23].

La procedura di autorizzazione ETSO è definita nel Regolamento 748/2012, nella sottoparte O [24] e riguarda progettazione, approvazione e produzione delle parti menzionate. Tali informazioni vanno incluse nella "Dichiarazione di Design e Performance per prodotti ETSO", che viene inviata all'EASA. Essa deve contenere [25] le informazioni sulla progettazione, le procedure di test e la descrizione del prodotto; le informazioni sull'output nominale dell'articolo; la dichiarazione formale del rispetto dell'appropriata CS-ETSO; una relazione relativa ai test effettuati sull'articolo da certificare; un documento in cui sono menzionate le procedure di manutenzione e i manuali di riparazione; un documento che attesta i livelli di conformità relativamente alla CS-ETSO; l'elenco delle varianti ammissibili.

L'autorizzazione ETSO viene concessa a tempo indeterminato, purché sussistano le condizioni richieste al momento della concessione dell'autorizzazione, e l'articolo non si riveli pericoloso. Il richiedente deve dimostrare la propria conformità operativa, e la conformità dell'articolo alle specifiche tecniche della norma ETSO di riferimento.

---

<sup>3</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli" e Università degli Studi di Salerno.

Gli accordi di accettazione reciproca di FAA e EASA [26] permettono alle aziende che producono componenti che hanno avuto un'approvazione ETSO dall'EASA di non dover richiedere una certificazione TSO alla FAA (e viceversa). Questo permette alle aziende europee di rivolgersi anche al mercato americano.

Dall'elenco pubblicato dall'EASA il 01/03/2019 [27] emerge che in Italia sono presenti una decina di aziende che hanno ottenuto un'autorizzazione ETSO, di cui 3 in Campania. Costituisce sicuramente un punto di forza, la presenza in Campania di molte PMI, coinvolte nella produzione di allestimenti e componenti di aeromobili ma anche dei comparti affini (elettronica, telecomunicazioni, sistemi radar, etc.), potenzialmente interessate a ottenere per i loro prodotti la certificazione ETSO, anche per allargare il proprio settore di mercato oltreoceano. Va, tuttavia, sottolineato che la procedura di certificazione è piuttosto laboriosa e la possibilità di una forte competizione a livello internazionale.

#### *2.1.4 Tecnologie e processi di lavorazione a più elevata produttività per la produzione di pale di turbine<sup>4</sup>*

Le pale di turbina in un motore aeronautico sono componenti complessi per forma, materiali e tecniche di produzione e sono soggette a requisiti stringenti su precisione dimensionale e microstruttura. In ambito di lavorazione di metalli, per quanto l'asportazione di truciolo rappresenti un processo consolidato, nel caso specifico della realizzazione delle pale di turbina manifesta tutte le sue peculiari limitazioni, ovvero: necessità di rimuovere dal pieno, e quindi scartare, grosse quantità di metalli pregiati, normalmente superleghe a base nichel e cobalto, di ultimissima generazione; programmare percorsi di lavorazione complessi; limitare le vibrazioni che possono danneggiare i componenti in lavorazione; utilizzare utensili specifici per metalli di difficile lavorabilità [28]; non ultima come problematica, la realizzazione dei canali interni per il raffreddamento.

Attualmente le aziende produttrici di utensili per asportazione di truciolo stanno investendo, anche con il supporto delle Università e dei centri di ricerca [29], nella direzione dell'affinamento del processo di asportazione di truciolo rivolto specificamente ai componenti utilizzati nell'aerospazio. Allo stesso tempo, data l'evoluzione delle palette di turbina verso una complessità sempre crescente ai fini del miglioramento delle prestazioni dei motori, guadagnano solidità i processi di fusione, tra i quali la microfusione a cera persa (*lost-wax casting*, anche *investment casting*).

---

<sup>4</sup> Università degli Studi di Salerno

In breve, la microfusione a cera persa prevede innanzitutto la realizzazione in cera del positivo del componente, mediante iniezione in appositi stampi; più componenti così formati vengono congiunti, ovvero assemblati nell'albero di colata, tramite riscaldamento e marginale rifusione; l'albero viene poi immerso in un bagno ceramico al fine di generare un guscio esterno che successivamente, per effetto di preriscaldamento, viene liberato dalla cera interna, raccolta per essere riutilizzata. Nel guscio ceramico, ora vuoto e preriscaldato, viene quindi colata, per gravità, la lega metallica. A solidificazione completa della lega, il guscio viene rotto liberando il getto di fusione; i singoli particolari, ancora in albero, sono poi disassemblati ed eventualmente rifiniti per sabbiatura, molatura o macchinazione[30]. L'interesse verso la microfusione a cera persa non è esaurito, anzi si intravedono diverse opportunità di ricerca e sviluppo. A questo proposito, è opportuno segnalare che una spinta non trascurabile all'innovazione e all'ottimizzazione del processo e dei componenti realizzabili deriva soprattutto dall'effetto delle ultime indicazioni a livello europeo e internazionale circa la riduzione delle emissioni inquinanti e dei livelli di rumorosità degli aeromobili [9]. Queste direttive si ripercuotono indirettamente sulle fasi del processo di produzione e sulla geometria dei componenti. In ambito di miglioramento del processo, sono comunque allo studio diversi aspetti tra i quali si segnalano: la variazione controllata della composizione del guscio ceramico dell'albero di colata[31], la progettazione di percorsi di colata opportuni uniformare, o prevedere in misura più precisa, il ritiro dimensionale del getto[32], il possibile miglioramento della qualità superficiale dei prodotti *as-cast* per ridurre il ricorso alle operazioni post processo [31]. Ulteriori miglioramenti si possono conseguire attraverso tecniche avanzate di monitoraggio, tra cui sistemi *cognitive decision-making* volti alla riduzione degli scarti di produzione [33].

In ambito di sviluppo di nuove e più specifiche leghe metalliche per l'incremento delle prestazioni dei motori, la ricerca si sta dirigendo verso nuovi materiali con avanzata resistenza termomeccanica, allo scorrimento viscoso e alla corrosione[33], maggiore stabilità alle temperature di esercizio e migliore saldabilità [34].

Le banche dati delle riviste internazionali forniscono svariati articoli inerenti il processo oggetto della presente traiettoria tecnologica. Quanto ai progetti di ricerca nazionali e internazionali, si fa presente che diverse problematiche inerenti la tecnologia di fonderia dei metalli sono state affrontate in *call* internazionali di collaborazione tra Unione Europea e Cina.

Tuttavia, il mercato delle macchine turbogas industriali è attualmente in leggera flessione, tuttavia si prevede un'imminente, forte espansione che entro il 2027 dovrebbe portare ad un aumento del 50% della potenza attualmente installata a livello

mondiale. È opportuno tuttavia evidenziare che i tempi di sviluppo per i nuovi materiali si collocano normalmente su periodi tra 10 e 20 anni, il che sposta la classe della traiettoria tecnologica in oggetto dal breve al medio periodo. Inoltre, il mercato aeronautico delle macchine turbogas presenta significative barriere all'ingresso, tant'è che risulta dominato da poche multinazionali: questo protegge la posizione delle aziende consolidate, da possibili nuovi *competitor*.

### *2.1.5 Trattamento di protezione superficiale e sistemi di protezione avanzati<sup>5</sup>*

Ci sono due aspetti che vanno analizzati nell'ambito della ricerca sui trattamenti di protezione superficiale in campo aerospaziale. Il primo riguarda il velivolo nel suo insieme, il secondo i motori.

I materiali direttamente esposti ad agenti atmosferici vari, inclusi ghiaccio e fulmini, radiazioni ultraviolette e potenziali impatti in volo sono soggetti a fenomeni di corrosione ed usura per abrasione. I materiali destinati alla protezione in questi casi devono reggere temperature di esercizio in ampio intervallo tra -55 e 80 °C, per una vita utile nell'ordine dei venti anni [35], [36].

La protezione primaria in questo senso è fornita da vernici speciali che tuttavia sono soggette, a requisiti di aerodinamicità nonché a requisiti di tipo estetico[37]. Specifici accorgimenti vanno adottati per i bordi d'attacco dei flap che sono particolarmente soggetti ad usura. È opportuno segnalare inoltre che la protezione dalla corrosione nel caso di strutture metalliche composte da parti dissimili si persegue attraverso l'isolamento elettrico che scongiura il fenomeno della corrosione galvanica.

L'altro aspetto della tematica riguarda nel dettaglio l'evoluzione esponenziale dei motori. Le ultime indicazioni a livello europeo e internazionale circa la riduzione delle emissioni inquinanti e dei livelli di rumorosità degli aeromobili [9], unite alle esigenze di incremento delle prestazioni dei moderni motori aeronautici, hanno determinato la necessità di investire su ricerca e sviluppo in ambito industriale.

È chiaro che lo sviluppo di questi metodi innovativi per il rivestimento superficiale e quindi l'estensione della vita utile del componente, procede di pari passo con lo sviluppo delle superleghe di nuova generazione, in quanto è necessario validare la tecnica di rivestimento in funzione del componente specifico da impiegare [34]. Il metodo denominato *Suspension Plasma Spraying* (SPS), di recente sviluppo e implementazione, è interessante per la produzione di rivestimenti di barriera termica per componenti di turbine a gas in quanto è capace di generare, a costi di produzione minori, strutture simili a

---

<sup>5</sup> Università degli Studi di Salerno.

quelle ottenibili attraverso processi consolidati come *Electron-Beam Physical Vapor Deposition* (EB-PVD), ma a conducibilità termica inferiore[38], quindi a beneficio dell'isolamento termico della paletta.

Una menzione a parte va riservata ai sistemi di protezione dal ghiaccio. Com'è noto, la combinazione di umidità e temperature prossime allo zero può causare sulla superficie del velivolo la formazione di ghiaccio, a terra oppure in volo[39]. Le procedure di gestione dell'aeromobile sono predisposte per affrontare questa tipologia di eventi e permettono la rimozione del ghiaccio attraverso azioni che precedono il volo e che pertanto vengono espletate mediante attrezzature di *handling* aeroportuale anziché attraverso gli impianti del velivolo. I dispositivi rientrano nella categoria di *Ice Protection Systems* (IPS) e dipendono dalla superficie da proteggere, dalle fonti di energia disponibili e dalle tecnologie utilizzate.

La sensibilità del mercato dell'aerospazio verso la tematica dei processi per la protezione superficiale è testimoniata dall'attivazione di corsi specifici, tenuti da enti qualificati, per la certificazione degli operatori coinvolti. Dai primi anni Duemila, l'Unione Europea ha finanziato diversi progetti di ricerca internazionale sulle tematiche di protezione superficiale avanzate per aeromobili e protezione dai fulmini [40].

Lo sviluppo di nuovi metodi e nuovi materiali per la protezione superficiale, sia per la struttura del velivolo, sia per il motore, deve tuttavia risultare compatibile con due esigenze. La prima, il rispetto dei tempi di produzione dei moderni aeromobili: a questo proposito, si segnala la crescita esponenziale del mercato che ha portato un colosso come Airbus a passare dalla produzione mensile di pochi esemplari negli anni Settanta, a circa 40 nel 2011. La seconda esigenza è il rispetto delle direttive sui materiali ecocompatibili e sulle tecnologie sostenibili. Il trend attuale va nella direzione dell'eliminazione di qualunque sostanza pericolosa dai processi di protezione superficiale. La tematica, per la Regione Campania, è attualmente seguita sia in contesto accademico che industriale e, nello specifico aerospaziale e l'azione di supporto a piccole realtà locali campane, raccordandone interessi e necessità, è svolta da associazioni con specifici centri di studio.

### **2.1.6 *Trattamento di protezione superficiale e sistemi di protezione avanzati - Sistemi di protezione dal ghiaccio***<sup>6</sup>

La presenza di gocce d'acqua sopraffuse nell'aria è causa di formazione del ghiaccio sulle superfici del velivolo. La forma che assume il ghiaccio (di tipo

---

<sup>6</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

rime, glaze o misto) dipende dalle condizioni atmosferiche, dal regime di moto e dalla geometria del velivolo. La formazione e l'accrescimento del ghiaccio può degradarne le prestazioni del velivolo e le sue qualità di volo. Per tale motivo, devono essere messe in atto procedure *ant-icing* che evitino o ritardino tale formazione. In quest'ambito, lo sviluppo di protocolli efficienti unitamente alla ricerca di nuovi composti chimici in grado di abbassare il punto di congelamento di fluidi protettivi per le superfici, è di particolare importanza.

Oltre alle misure messe in atto per la prevenzione, i velivoli sono dotati di dispositivi di *de-icing*, in grado di rimuovere il ghiaccio formatosi durante il volo. La ricerca in questo ambito si è focalizzata sullo sviluppo di sistemi sempre più efficienti in termini di peso e assorbimento di potenza. A titolo di esempio, il sistema *Thermawing* sviluppato dalla società Kelly Aerospace [41] impiega una lamina di grafite flessibile elettricamente conduttiva che viene riscaldata in maniera quasi istantanea. Il sistema dispone di un controllo attivo per cui la superficie è riscaldata solo in caso di necessità, permettendo un notevole risparmio energetico.

Il sistema EIDI (*Electromagnetic Impulse Deicer*) è invece basato sull'applicazione di carichi impulsivi direttamente sulla superficie dell'ala [42]. L'attuatore è composto da una serie di bobine disposte nel bordo d'attacco dell'ala; un'evoluzione di questo sistema è rappresentato dal SPEED (*Sonic Pulse Electro-Expulsive Deicer*) [43], sviluppato dalla NASA in collaborazione con DARPA. Il sistema si avvale anche di sensori chiamati *IDI's* (*Innovative Dynamics Inc.*) *Icing Onset Sensor* (IOS), che vengono utilizzati per monitorare la fase di accrescimento del ghiaccio, permettendo al sistema di *de-icing* di lavorare in maniera completamente automatica.

Al momento sono studiati anche sistemi di *de-icing* che sfruttano le proprietà dei materiali a memoria di forma (SMA- *Shape Memory Alloys*) [44], ovvero materiali che sono in grado di ripristinare la loro configurazione iniziale se deformati e poi sottoposti ad appropriato trattamento termico. Un primo sistema proposto si basa sull'utilizzo di un foglio di SMA sulla superficie interessata dalla formazione di ghiaccio (ad esempio il bordo d'attacco); riscaldando tale foglio, esso tende a rimpicciolirsi rompendo il ghiaccio. Una seconda strategia proposta si basa sull'utilizzo di un foglio di SMA e di un attuatore SMA, che, attivato tramite calore, spinge il foglio su una struttura reticolare composta da nervature parallele, le quali contribuiscono a creare un campo di deformazione atto a causare il distacco del ghiaccio. Altri sistemi di *de-icing* in fase di studio prevedono l'uso di ultrasuoni [45].

La sicurezza del volo, ma anche la ricerca sui velivoli a basso impatto ambientale, rendono i sistemi di protezione dal ghiaccio un argomento di sicuro interesse per il futuro.

La Campania possiede uno dei più importanti impianti di prova in questo settore, ovvero l'Icing Wind Tunnel (IWT) del CIRA. Questa galleria del vento viene utilizzata prevalentemente con lo scopo di dimostrare la "compliance" di sistemi di protezione dal ghiaccio alle normative di certificazione di riferimento ed è già inserita nei principali programmi di sviluppo industriale. Il CIRA è fra l'altro coinvolto in progetti CLEANSKY2 sull'argomento quali il progetto GAINS - *Green Airframe Icing Novel System*. L'obiettivo principale del progetto è lo studio di sistemi di protezione dal ghiaccio con focus principalmente su velivoli della classe business jet ma anche su velivoli di dimensioni maggiori con partecipazione di Dassault e Airbus.

Tra le opportunità per lo sviluppo del tema si segnala dunque l'interesse specifico da parte di CLEANSKY. Punti di forza per la Campania sono la presenza di numerose PMI potenzialmente interessate alla tematica e la presenza dell'IWT del CIRA. Sono punti di debolezza e possibili minacce la procedura di certificazione potenzialmente laboriosa e l'elevata concorrenza a livello internazionale.

### *2.1.7 Tecniche di manufacturing basate su ALM e delle tecniche di ripristino avanzate (laser cladding, cold spray e altre di tipo additivo)<sup>7</sup>*

Le due principali tecnologie utilizzate attualmente nel contesto della fabbricazione additiva rivolte al settore aerospaziale [46], [47] impiegano il fascio laser [48] oppure il fascio elettronico come sorgente di energia. Tali sorgenti infatti consentono la realizzazione di prodotti in metallo destinati ad applicazioni reali anziché alla semplice prototipazione. È possibile in questo ambito individuare due sottotematiche: fabbricazione e riparazione; entrambe rivestono particolare importanza nell'aerospazio. Infatti la fabbricazione attraverso ALM apre alla possibilità di realizzare oggetti di forma complessa, più leggeri ed ottimizzati sotto il profilo topologico e prestazionale[49], nonché in materiali di difficile lavorabilità [50] attraverso tecnologie consolidate quali asportazione di truciolo e fonderia; in questo modo è possibile anche l'utilizzo oculato delle materie prime con riduzione notevole di scarti e sfridi, tematica di fondamentale importanza industriale, sia in contesto nazionale che internazionale, nell'ottica di sostenibilità [51] e *green manufacturing*.

Dall'analisi della letteratura del settore emerge che per finalità di fabbricazione la tecnologia di ALM di metalli più promettente e attrattiva è la tecnologia a due stadi, con deposizione di un letto di polvere metallica e con utilizzo di fascio laser o fascio elettronico. L'accuratezza dimensionale è

---

<sup>7</sup> Università degli Studi di Salerno.

nell'ordine dei centesimi di millimetro, a valle di una preliminare opportuna progettazione della lavorazione[52]. La tecnologia che invece risulta più adeguata per finalità di riparazione e ripristino sembra quella di deposizione a uno stadio, o deposizione diretta, in cui il metallo viene fornito sotto forma di filo oppure polvere. In quest'ultimo caso, la lavorazione può essere condotta unicamente con fascio laser, data la necessità di trasportare la polvere con un gas inerte che violerebbe l'atmosfera di vuoto richiesta dal fascio elettronico.

Si intravede come prospettiva generale per il futuro l'integrazione delle tecnologie ALM con quelle sottrattive tradizionali[53]. In questo senso la letteratura segnala un costante e inarrestabile cambiamento del paradigma produttivo in termini di processi, manodopera ed applicazioni. Per questi motivi, particolare interesse è rivolto attualmente all'ambito della simulazione del processo e del controllo on-line della lavorazione[54].

Sulla scena internazionale la ricerca nel settore ALM viene condotta in tutto il mondo da parte di università e centri di ricerca, principalmente, con finalità di trasferimento tecnologico alle industrie[55]. A questo proposito, si segnala che una relazione prodotta dall'Imperial College di Londra nel 2015 [56] ha raccolto i principali contributi mondiali sull'analisi globale del settore e ha attribuito un valore di circa 6.5 miliardi di euro al mercato delle tecnologie di fabbricazione additiva; di tutti gli investimenti, il 93% è riferito alle applicazioni industriali; la prospettiva per il 2020 è di un valore tre volte maggiore. Il crescente interesse verso gli studi sulle tecnologie additive è ulteriormente dimostrato dall'aumento esponenziale del numero di pubblicazioni sull'argomento: l'analisi delle banche dati mostra un boom da meno di cinquecento pubblicazioni nel 2005 a oltre tremila nel 2015[56], la maggioranza delle quali attribuita ad autori statunitensi.

Oltre al settore aerospaziale il campo di produzione che maggiormente può beneficiare dello sviluppo di ALM è l'automotive[56]. Infatti, molti risultati della ricerca sono trasferibili in termini di tecniche di riprogettazione, ottimizzazione dei parametri di processo, messa a punto di nuove leghe con specifiche caratteristiche di resistenza meccanica.

Esiste una lunga cronologia di progetti di ricerca, in cui figurano partner accademici e industriali; attraverso tali progetti si può beneficiare di finanziamenti per affrontare il cospicuo investimento iniziale. Dal 1980 infatti, ovvero già dagli anni in cui le tecnologie in oggetto si trovavano ancora in stadio embrionale, l'Unione Europea ha finanziato la ricerca sulla fabbricazione additiva; solo tra il 2007 e il 2013 ha stanziato oltre 160 milioni di euro [57] nel quadro EU FP7 a cui ha fatto seguito Horizon 2020 che ha conservato diverse tematiche strategiche già individuate dai programmi precedenti; questa

politica è stata ovviamente recepita anche a livello nazionale, su progetti finanziati dal Ministero dell'Istruzione per l'Università e la Ricerca.

La ricerca di traiettorie tecnologiche opportune riconducibili alla fabbricazione additiva del metallo e quindi ad applicazioni ALM per il settore aerospaziale, è stata già condotta in passato da diverse regioni geografiche o nazioni[58], quali Unione Europea, Australia, Giappone, Regno Unito e Stati Uniti. La letteratura segnala che il gap tradizionale tra l'impostazione accademica e quella industriale sta determinando alcuni ostacoli allo sviluppo completo delle potenzialità dei macchinari e delle tecnologie [59]. Ciò rappresenta attualmente la principale barriera all'integrazione dell'ALM nei contesti industriali internazionali. In ambito nazionale questo problema non è di minore entità, tuttavia la lunga cronologia di progetti di ricerca, in cui figurano partner accademici e industriali, dimostra che si può beneficiare di finanziamenti per affrontare il cospicuo investimento iniziale. In altri termini, nonostante l'ammontare dell'investimento iniziale possa costituire una barriera significativa all'implementazione di tecnologie ALM, la casistica riportata in letteratura è ampiamente rassicurante e promettente in termini di ricadute su valore aggiunto della produzione, ingresso in nuovi mercati e formazione di nuove figure professionali altamente qualificate e retribuite.

Siccome i progetti menzionati precedentemente hanno coinvolto diversi partner di rilievo nella Regione Campania, ciò rappresenta un inequivocabile punto di forza nel settore delle tecnologie ALM.

### *2.1.8 Fabbrica 4.0 per l'aeronautica e lo spazio (es. reingegnerizzazione dei processi, utilizzo del Cloud, Big Data, stampa 3D, manifattura additiva dal nano al macro)<sup>8</sup>*

Per Industria 4.0 ci si riferisce a una modalità organizzativa della produzione di beni e servizi che fa leva sull'integrazione degli impianti con le tecnologie digitali. Le opportunità derivanti da questo nuovo paradigma sono di tale portata da essere paragonabili a quelle generate dall'introduzione della produzione di massa ("Seconda Rivoluzione Industriale") ed a quelle veicolate dall'introduzione di impianti automatizzati basati sulle tecnologie elettroniche e informatiche ("Terza Rivoluzione Industriale"). Industria 4.0 mira a integrare le tecnologie che nell'Industria 3.0 venivano adottate singolarmente. In particolare, l'obiettivo è quello di creare sistemi ibridi (produttivi, commerciali, logistici) che siano in grado di gestire, interpretare e valorizzare la grande mole di dati disponibile mediante l'utilizzo delle tecnologie digitali.

---

<sup>8</sup> Università degli Studi del Sannio di Benevento.

Questo può avvenire grazie alla sensorizzazione delle macchine, al collegamento della parte fisica delle materie prime, dei semilavorati e dei prodotti finiti con il loro “duale digitale”, all’integrazione della parte fisica dell’azienda con i sistemi informativi usati. In questo modo, i dati disponibili possono essere trasformati in informazioni (dati interpretati), capaci di migliorare la gestione dei magazzini, la produzione, le movimentazioni interne, ma anche gli acquisti a monte e le vendite a valle.

Per un’azienda conoscere e ottimizzare il funzionamento dei propri processi documentali è l’unico modo per monitorare l’avanzamento, misurare le performance e migliorare le prestazioni dei propri processi produttivi a qualunque livello, semplificando i flussi di dati che sono un vero e proprio patrimonio che le nuove tecnologie mettono a disposizione delle organizzazioni. Secondo la definizione di processo, esso costituisce un insieme di attività che utilizza risorse per trasformare elementi in ingresso in elementi in uscita (con valore aggiunto).

In un’impresa ben strutturata i processi, nel senso più generico del termine, andrebbero sempre mappati e documentati. Tutto deve essere assimilabile ad un processo: dalle attività più ripetitive a quelle che richiedono più creatività (tipicamente attività strategiche o gestionali). Un buon punto di riferimento in questo senso è rappresentato dalla Piramide di Anthony.

L’impatto massimo atteso da questo nuovo paradigma potrà realizzarsi quando le organizzazioni saranno in grado di gestire in maniera integrata persone, macchine, prodotti e perfino ipotizzare nuovi modelli organizzativi e di business.

I processi sono, tuttavia, sempre accompagnati dai dati sui quali agiscono e tramite i quali sono monitorati, per cui un vero process reengineering nella filiera aerospazio implica: la mappatura dei processi come correntemente implementati; una corretta analisi degli attori coinvolti, dei punti di decisione e delle attività che sono eseguite serialmente; una proposta di nuovi flussi di azioni ottenuti con l’ottimizzazione dell’operato degli attori coinvolti e con la parallelizzazione delle attività seriali.

L’approccio per processi, applicato alle operations nel settore aerospazio, ha consentito di ridurre gli interventi di emergenza, chiarire le priorità del lavoro, migliorare il coordinamento tra i gruppi, individuare e rimuovere le cause radice, prevenire i problemi e gli errori, prendere decisioni basate sui fatti, raggiungere gli obiettivi in minor tempo, ridurre i rifacimenti, parlare un linguaggio comune, instaurare un meccanismo per il miglioramento continuo, migliorare l’interfunzionalità ed i rapporti di lavoro, rendere i processi flessibili e adattabili alle diverse esigenze, migliorare la soddisfazione del Cliente, migliorare il conto economico.

La somma di questi miglioramenti si traduce in efficienza, efficacia e utili. Per arrivare a questi risultati si ha bisogno di nove principali tecnologie abilitanti che rappresentano i pilastri dell'evoluzione del 4.0, esse sono: Additive Manufacturing; Augmented Reality; Big Data; CyberSecurity; Horizontal/Vertical integration; Cloud; Advanced Manufacturing Solutions; Industrial Internet; Simulation.

### *Additive Manufacturing*

L'additive manufacturing (AM) è il nome utilizzato per descrivere le tecnologie che permettono la produzione di oggetti fisici tridimensionali, potenzialmente di qualsiasi forma e personalizzabili senza sprechi, a partire da un modello digitale. Con industria 4.0, l'applicazione di tecnologie additive-manufacturing, come ad esempio la stampante 3D, saranno ampiamente utilizzate per produrre piccoli lotti di prodotti personalizzati fondamentali per l'industria aerospazio, anche in siti produttivi distanti e differenti, permettendo, quindi, l'ottimizzazione dei costi in tutta la catena logistica e del processo distributivo. Numerose agenzie aerospaziali stanno realizzando applicazioni dell'additive manufacturing. SpaceX ha utilizzato la AM per produrre camere motore per la sua nuova astronave Dragon [60]. General Electric ha costruito staffe complesse che pesano l'80% in meno rispetto alle parti strutturali convenzionali [61], mentre la NASA ha creato un iniettore a razzo progettato per carichi elevati e alti gradienti di temperatura.

### *Augmented Reality*

Per realtà aumentata (AR) si intende l'arricchimento della percezione sensoriale umana mediante informazioni, che non sarebbero percepibili con i cinque sensi, generate tramite input sensoriali come suoni, video o dati GPS. L'adozione di tale tecnologia consente un impiego della tecnologia digitale per aggiungere dati e informazioni, in tempo reale, alla visione della realtà e agevolare, ad esempio, la selezione di prodotti e parti di ricambio, o più in generale qualsiasi decisione relativa al processo produttivo migliorando quindi le procedure di lavoro. I vantaggi e i benefici dell'AR sono stati ampiamente riscontrati da importanti produttori di aeromobili a livello globale. Di seguito vengono riportati alcuni lavori correlati:

- Uno degli studi di AR sviluppati presso la Boeing era in collaborazione con la Iowa State University descritta nel lavoro "Fusing Self-Reported and Sensor Data from Mixed-Reality Training" per valutare tre diversi metodi di presentazione delle istruzioni di lavoro [62].

- Un'altra soluzione AR industriale già in uso proviene da Airbus. Con il progetto di un nuovo velivolo il processo di produzione viene sviluppato interamente con strumenti digitali, Airbus ha collaborato alla creazione del MiRA (Mixed Reality Applicazione) nel 2009. Questa App aumenta la produttività nelle linee di produzione utilizzando la tecnologia AR per analizzare parti e rilevare errori. Sull' Airbus A380, MiRA, che oggi consiste in un tablet PC e un pacchetto di sensori e software appositamente sviluppati, ha ridotto il tempo necessario per controllare decine di migliaia di brackets nella fusoliera da 300 ore a 60 ore sorprendenti. Inoltre, le scoperte tardive di danni, le parentesi posizionate erroneamente o mancanti sono state ridotte del 40% [62].

### *Big data*

Le aziende aerospaziali comprendono meglio le sfide dei Big Data rispetto al resto delle industrie. Un chiaro esempio dell'impatto dei Big Data nell'industria aerospaziale è il "velivolo digitale" dei nostri giorni, che può raccogliere fino a 300.000 parametri, a seconda della durata del volo e del tipo di aeromobile. Un importante costruttore di aerei stima che la trasmissione dei dati aumenterà del 14% nei prossimi anni. Un esempio semplice e pratico potrebbe essere il seguente: un Boeing 737, un aereo commerciale bimotore, impiega un tempo di sei ore tra New York e Los Angeles. Ogni motore genera 20 terabyte di informazioni all'ora. Moltiplicando 20 terabyte di informazioni di un singolo motore per le 6 ore di un volo, otterremo 240 terabyte di dati dai motori.

### *Advanced Manufacturing Solutions*

L'advanced manufacturing solution (AMS) indica l'adozione di sistemi avanzati di produzione, interconnessi e modulari che permettono flessibilità e performance. L'applicazione di tali sistemi, rapidamente programmabili, permette l'evoluzione delle macchine verso una maggiore autonomia, flessibilità e collaborazione, sia tra loro sia con gli esseri umani, dando vita a robot con aumentate capacità cognitive. La sua adozione permette, nel settore industriale una maggiore efficienza produttiva attraverso una riduzione degli errori, dei tempi e dei costi e un miglioramento della produttività e sicurezza dei lavoratori oltre che dei processi. In ambito aerospaziale alcune delle tecniche AMS più importanti sono rappresentate dalle fusioni laser a fascio (LBM) e fusione a fascio di elettroni (EBM).

### *Cyber-security*

Con il termine cyber-security si indicano tecnologie, processi, prodotti e standard necessari per proteggere collegamenti, dispositivi e dati, da accessi

non autorizzati, garantendone la necessaria privacy e sicurezza durante le operazioni in rete e su sistemi aperti. Il settore dell'aerospazio non è immune ai rischi della sicurezza informatica che sono stati critici per tutte le altre industrie, anche se è abbastanza difficile hackerare tutti i sistemi contemporaneamente, inclusa la scheda di controllo radio e il sistema di indirizzamento e segnalazione delle comunicazioni aeronautiche (ACARS), utilizzato per inviare messaggi o informazioni sull'aereo piuttosto che sulle trasmissioni vocali. Possiamo però constatare che un attaccante con una profonda conoscenza del sistema dell'aereo potrebbe intenzionalmente causare seri problemi con il suo normale funzionamento.

### *Horizontal/Vertical integration*

L'adozione di tecnologie interconnesse, in grado di analizzare big data e creare sistemi aperti di condivisione dati ed informazioni in tempo reale, permetterà la digitalizzazione e l'integrazione, al fine di creare efficienti catene automatizzate in grado di ridurre costi di inventario e tempi attraverso un miglior coordinamento delle attività. L'integrazione, che avverrà attraverso l'intera organizzazione, dallo sviluppo del prodotto all'acquisto, passando dalla produzione, logistica e servizi; che verticalmente, coinvolgendo tutti i partner chiave della value-chain. Con l'adozione dell'integrazione orizzontale i produttori di aeromobili (OEM) aumenteranno la velocità di fornitura per soddisfare le commesse e i requisiti del cliente. Alla luce di questi aspetti, la gestione della supply chain, che nell'ultimo decennio è diventata un fattore chiave per i principali produttori dell'industria aeronautica, avrà dei forti benefici. La struttura dell'industria aerospaziale è in evoluzione, infatti, si sta passando da produzioni verticali tradizionali a cooperazioni multinazionali distribuite in più fasi (tra cui produzione, assistenza post-vendita, manutenzione, riparazione e ricondizionamento) che presentano inevitabilmente sfide più ardue (Behrens, 2010).

### *Il cloud e cloud computing*

Il cloud è un'infrastruttura IT comune, flessibile e open-by-design per condividere dati, informazioni e applicazioni attraverso internet in modo da seguire la trasformazione dei modelli di business con la capacità necessaria. Il cloud computing abilita flessibilità, rilasci continui di servizi con cicli di vita ridotti a mesi, innovazione progressiva e trasversalità (X Commissione Permanente parlamento italiano, 2016).

La necessità del cloud nei settori aeronautico e aerospaziale e l'implementazione del cloud computing è diventata un fattore critico. Il cloud computing

evita alle aziende di investire su tutta l'infrastruttura e apre la strada al solo pagamento per i servizi che usano. Con il cloud, diventa più facile simulare ogni componente dell'aeromobile piuttosto che costruire un fisico prototipo. Le operazioni e la gestione nelle industrie aeronautiche dipendono principalmente da enormi quantità di dati. La raccolta, la classifica e l'estrazione di questi dati rappresentano sfide importanti e possono essere risolti dall'utilizzo dei database basato su cloud.

### ***Industrial internet***

Industrial internet è comunemente conosciuto anche come Internet of things (IoT). Esso consiste nell'introdurre una nuova forma di interazione, non più limitata alle persone, ma tra persone e oggetti, denotata anche come Man-Machine Interaction (MMI), e pure tra oggetti e oggetti, Machine to Machine (M2M). L'IoT rappresenta la prima vera evoluzione di Internet e la sua applicazione, permette di creare una rete di oggetti fisici che dispongono intrinsecamente della tecnologia necessaria per rilevare e trasmettere, attraverso internet, informazioni sul proprio stato o sull'ambiente esterno. L'industrial internet è composto da un ecosistema che include gli oggetti, gli apparati e i sensori necessari per garantire le comunicazioni, le applicazioni e i sistemi per l'analisi dei dati. Attraverso il suo utilizzo, la supply-chain si accorcia e si sincronizza migliorando il time to market e la capacità di rispondere alla variabile domanda dei consumatori, consentendo la produzione in scala anche per piccolissimi lotti. I campi della sua applicabilità sono vari e molteplici, dalle applicazioni industriali, alla logistica fino all'assistenza remota e alla tutela ambientale.

#### ***2.1.9 Metodologie per la Multi Disciplinary Optimization<sup>9</sup>***

L'ottimizzazione multidisciplinare (*Multi Disciplinary Optimization* - MDO) si concentra sulle tecniche di ottimizzazione numerica per la progettazione di sistemi che coinvolgono diverse discipline. La MDO è nata in campo aeronautico, dove la progettazione di un velivolo richiede di tenere in conto molteplici aspetti: dall'aerodinamica, alle strutture, ai sistemi di controllo, all'avionica, etc.

Molto spesso, nei problemi di progettazione ci sono più obiettivi da ottimizzare. Se questi obiettivi vengono descritti separatamente da diverse cifre di merito, si dovrà risolvere un problema di ottimizzazione multi-obiettivo. In alternativa, si può formulare un problema mono-obiettivo, definendo un

---

<sup>9</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

opportuno funzionale di costo come una combinazione pesata dei vari obiettivi. Per la risoluzione di problemi di ottimizzazione multidisciplinare mono-obiettivo si ricorre spesso a tecniche classiche di ottimizzazione, quali algoritmi basati sul gradiente [63] o ad algoritmi di tipo evolutivo (algoritmi genetici), oppure ad algoritmi euristici [64].

Gli algoritmi euristici e quelli naturali si sono dimostrati abbastanza efficienti anche per i problemi multi-obiettivo. Nei problemi in cui si vogliono ottimizzare simultaneamente più funzioni, o in problemi con variabili discrete [65], [66], un approccio comunemente utilizzato è il cosiddetto *Goal Programming*, nel quale ciascun obiettivo è minimizzato o massimizzato separatamente, considerando gli altri obiettivi come vincoli. Ciò conduce al calcolo di un insieme di configurazioni ottimali, non dominate, che possono essere rappresentate come una curva di Pareto nello spazio delle variabili di progetto. Poiché il calcolo accurato della curva di Pareto può essere computazionalmente oneroso, un altro approccio possibile è quello basato sulla teoria dei giochi [67], [68] [69], [70], [71] per la quale una molteplicità di “giocatori” possono perseguire obiettivi contrastanti o, più semplicemente, diversi.

Al di là delle tecniche numeriche utilizzate per calcolare la soluzione, è importante sottolineare, che la ricerca si è spinta anche sullo studio della formulazione del problema [72], [73]. La scelta di una particolare tipo di formulazione può infatti influenzare sia il tempo necessario per calcolare la soluzione che la qualità della soluzione stessa.

Esempi di MDO si ritrovano nella progettazione di aeroplani con configurazioni innovative, oppure destinati al volo supersonico, dove è necessario garantire buone performance sia nelle fasi di volo subsonico, sia nelle fasi ad alta velocità [74], [75]. Altri esempi di MDO si ritrovano nella progettazione dei velivoli da rientro [76]–[81], dove è necessario scegliere contemporaneamente la forma del velivolo, la traiettoria di rientro, e la disposizione dei carichi utili, già nella fase di progetto concettuale.

I problemi di ottimizzazione multidisciplinare in campo aeronautico e aerospaziale presentano quasi sempre un elevato grado di complessità legato sia alla complessità dei modelli utilizzati (analisi CFD, analisi FEM delle strutture, etc.), sia all’elevato numero di variabili di progetto e alla loro natura. Per tal motivo, è sempre necessario cercare nuove architetture MDO e implementare solutori computazionalmente più efficienti.

Questo tipo di ricerca è principalmente legata al mondo accademico, ed è ben portata avanti dalle università campane, le quali hanno avuto modo di maturare competenze nell’ambito della MDO non solo su tematiche aerospaziali. Questo rappresenta un punto di forza.

Tra le opportunità si segnalano il vasto numero di applicazioni dei metodi MDO, anche non aeronautiche (progettazione di turbine eoliche, costruzioni civili, etc.); la possibilità di utilizzare piattaforme di calcolo parallelo, che ben si sposa con gli algoritmi di ottimizzazione euristici, e consente di “distribuire” l’onere computazionale su molteplici unità di calcolo, diminuendo i tempi di risoluzione [82].

Non si individuano significative minacce sul piano scientifico per lo sviluppo di algoritmi e architetture MDO. Le particolari minacce sono invece legate all’applicazione di tali metodi, in quanto i problemi di MDO presentano quasi sempre un elevato grado di complessità.

## 2.2 Sistemi di bordo, comunicazioni e sistemi per la difesa

### 2.2.1 Sistemi e loro integrazione, *Swarming a Pilotaggio Remoto*<sup>10</sup>

I programmi europei e americani SES e NextGen prevedono un nuovo sistema di gestione del traffico aereo mirato a una maggiore integrazione dei velivoli (sia *manned* che *unmanned*) nel sistema globale di trasporto. Ciò ha motivato una riprogettazione dell’infrastruttura CNS, in grado di fornire, in tutte le condizioni meteorologiche e con elevato livello di affidabilità, i servizi di comunicazione tra piloti e controllori ATC, i servizi di navigazione e i servizi di sorveglianza. Lo sviluppo di una nuova infrastruttura CNS viene supportata sul piano tecnologico dallo sviluppo di nuovi dispositivi (smart sensor, sensori iperspettrali, nuovi sistemi di comunicazione, ecc.) ma anche di algoritmi sempre più efficienti.

In Europa sono molteplici le ricerche svolte in questo ambito. Basti pensare ai progetti NAVISAS [83], ENVISION [84], GAUSS [85] e CLASS, IRSIS [86], SAPIENT [87], DroC2mm[88], DESIRE [89].

Sebbene la ricerca nell’ambito della sensor fusion per il processing e l’elaborazione dei segnali di misura ponga diversi approcci [90], quelli maggiormente impiegati in campo aeronautico sono basati sulle tecniche di filtraggio stocastico che comprende filtri di Kalman e *particle filters*. A prescindere dall’approccio utilizzato i sistemi di data-fusion possono avere un’architettura centralizzata [91] o distribuita [92], [93]. La possibilità di usare *smart sensor*, dotati di capacità computazionale propria, offre la possibilità di adottare un modello semi-distribuito in cui, a livello dell’unità centrale, è richiesto un minor onere di calcolo. Allo stesso modo, una struttura distribuita è di particolare interesse qualora si voglia dotare un insieme di sensori comple-

---

<sup>10</sup> Università degli Studi della Campania “L. Vanvitelli”.

mentari della capacità di auto-organizzarsi comunicando tra loro le proprie informazioni locali.

Il distanziamento dei velivoli in ogni fase di volo è l'insieme di azioni che il sistema ATC e il velivolo singolo devono attuare in modo da rispettare le prescrizioni della navigazione aerea ed evitare le collisioni. Il concetto di separazione tra velivoli richiede che tutti gli aeromobili che operano in un certo spazio aereo siano a una distanza reciproca tale da minimizzare il rischio di collisione secondo le indicazioni dell'ATC. Il concetto di auto-separazione (self-separation) è, invece, legato ai concetti *see and avoid* [94], anche indicato come *sense and avoid*, o *detect and avoid* [95] (DAA), e sta a indicare la capacità di un aeromobile di mantenere una distanza di separazione accettabile e sicura dagli altri velivoli senza seguire le istruzioni o la guida dell'ATC. A causa di diversi fattori come il tempo, le regole del volo strumentale e la complessità del traffico aereo, la capacità di "vedere ed evitare" coinvolge diversi aspetti come le regole dell'aria [96] tecnologie e protocolli di comunicazione, gestione del traffico aereo.

I velivoli manned sono dotati di dispositivi, quali TCAS I e/o TCAS II in grado di identificare le potenziali situazioni di rischio e avvisare il pilota. L'*Automatic Dependent Surveillance* (ADS-B), sebbene non sia propriamente un sistema di collision avoidance, si può includere tra i sistemi DAA. Infatti, tale sistema non solo è in grado di allertare gli altri velivoli dotati di ADS-B, ma anche di fornire informazioni sulla posizione e la velocità attuale del velivolo in broadcast. A questo proposito l'UE ha finanziato diversi progetti di ricerca tra cui SALSA [97], MidCas [98] e PercEvite [99].

I sistemi di DAA, di comunicazione, di navigazione e sorveglianza, richiedono sia lo sviluppo di componenti hardware (sensori, antenne, etc.) sia lo sviluppo di nuovi strumenti software e di nuovi protocolli di collaborazione. Per tal motivo, queste tematiche coinvolgono diverse aree disciplinari, tra cui l'automazione, l'elettronica, e telecomunicazioni.

La Campania esprime buone competenze nel campo con partecipazione a progetti sulle tecnologie richieste per lo sviluppo del *Single European Sky* (e.g. CIRA, Università Campana, SICTA). In particolare, in Campania si esprimono competenze nel comparto dei sistemi aeronautici e satellitari, nelle tecnologie dell'informazione, nella radaristica, nella logistica, nelle metodologie di *sensor fusion*, etc.

Le maggiori opportunità legate alle tematiche descritte sono lo sviluppo di nuovi sistemi di traffico aereo in Europa e negli USA; lo sviluppo di canoni e procedure per l'integrazione dei velivoli unmanned nel traffico aereo convenzionale; gli investimenti da parte della Comunità Europea sulla tematica e rete di collaborazioni di ricerca già avviate.

## 2.2.2 Tecnologie e sistemi di gestione del comportamento cooperativo di UAV ed integrazione in TLC e sistemi Manned<sup>11</sup>

Attualmente lo spazio aereo destinato agli UAV e in particolar modo quelli a pilotaggio remoto (RPAS-Remotely-Piloted Aircraft System) è ben distinto da quello destinato agli aeromobili con pilota a bordo.

L'integrazione degli UAV in spazi aerei non segregati è oggetto di studio e di dibattito in tutto il mondo [100]–[103]. Tale integrazione non può prescindere dall'adozione di un piano normativo in linea con i dettami ICAO relativi all'*Aviation System Block Upgrade* [104],[105], dalla ricerca e lo sviluppo delle tecnologie abilitanti necessarie per assicurare la *safety* e la *security* dello spazio aereo, e da un'attenta valutazione dell'impatto sociale che potrebbe avere l'impiego dei droni integrati nello spazio aereo civile.

L'accesso degli UAV a spazi aerei non segregati, porta all'esigenza, anche in ottica futura, di sviluppare un vero e proprio programma di gestione del traffico aereo per i velivoli senza equipaggio a bordo, in grado di garantire sia la coesistenza di più UAV, sia la condivisione dello spazio con i velivoli *man-ned*. Tale sistema è definito *UAS Traffic Management (UTM)* [106]–[109].

Nel quadro Europeo la regolamentazione degli UAV segue due filoni paralleli e complementari, che porteranno alla piena integrazione degli UAV nello spazio aereo [110]. Un primo filone evolutivo, che si occupa dell'adattamento e dell'integrazione di RPAS di grandi dimensioni, negli scenari operativi dell'aviazione con equipaggio. Un secondo filone innovativo, che richiede lo sviluppo di nuovi servizi e procedure (U-Space) per fornire l'accesso allo spazio aereo a un numero elevato di droni, supportati da un alto livello di automazione e connettività.

Per entrambi i filoni sarà necessario introdurre una regolamentazione comune, rafforzare e standardizzare tecnologie come la *Detect And Avoid (DAA)*, la gestione automatica dei malfunzionamenti, le tecniche che consentono la *situational awareness* dei piloti a terra, i link di comunicazione radio, i sistemi satellitari di supporto alle funzioni di *command & control*, i sistemi di comunicazione basati sulla telefonia mobile, etc.

Lo sviluppo di un sistema UTM affidabile aprirà la strada a moltissime future applicazioni, che potrebbero alimentare la ricerca e lo sviluppo di tecnologie relative alla cooperazione di più droni, l'interoperabilità tra sistemi eterogenei, e lo sviluppo di un maggior grado di automazione sia dei velivoli che del sistema ATM (pianificazione della traiettoria, *detect and avoid*, riconfigurazione del sistema in caso di emergenza, etc.).

---

<sup>11</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

Nell'ambito del programma europeo di ricerca Horizon 2020, temi peculiari relativi all'integrazione degli UAV nel sistema ATM sono ampiamente trattati dal programma SESAR, così come in progetti finanziati da ESA e da EDA. In tali progetti sono state condotte attività di validazione tecnologica in volo a livello pre-operativo e di definizione di requisiti specifici a supporto dell'integrazione. Più recentemente, la necessità di un'armonizzazione, e possibilmente di un coordinamento dei programmi istituzionali sugli RPAS, è stata proposta nell'ambito del programma Future Sky di EREA (*Association of European Research Establishments in Aeronautics*) [111]; in tale ottica, sono stati avviati dei tavoli di lavoro sulla tematica *RPAS Safety*.

La Campania esprime buone competenze su questa tematica e quelle strettamente connesse (UAV, sistemi di DAA, sistemi di comunicazione, etc.), grazie alla presenza di diversi Enti di Ricerca, Università e aziende coinvolte nei programmi di ricerca sul futuro ATM/UTM europeo e sullo sviluppo di tecnologie a supporto degli UAV (DESIRE [89], DeSIRE2 [112], MIDCAS [98], RAID [113], DREAMS [114], CORUS [115], DIODE [116]).

La tematica ben si presta anche ad interventi di piccole medie imprese.

Tra le minacce va considerato il ritardo del programma Europeo rispetto al programma americano (NextGen), e quindi la possibilità delle aziende campane di dover fra fronte ad una forte concorrenza extra-UE.

### 2.2.3 HW e SW per l'implementazione del Single European Sky<sup>12</sup>

Per far fronte ai crescenti flussi di traffico aereo, l'UE ha varato il *Single European Sky* (SES, in italiano Cielo Unico Europeo), allo scopo di creare un quadro legislativo generale per l'aviazione europea, armonizzare la progettazione e la gestione dello spazio aereo in tutti paesi dell'area ECAA (*European Common Aviation Area*) e rafforzare la sicurezza e l'efficienza del traffico, riducendo i ritardi e i costi.

La base generale di tale iniziativa prevede di organizzare lo spazio aereo in "blocchi funzionali (*FAB - Functional Airspace Blocks*)", in funzione dei flussi di traffico e dei confini nazionali. Sul piano tecnologico, il SES è sostenuto dal programma di ricerca sulla gestione del traffico aereo SESAR [117], che fornirà tecnologie e procedure avanzate al fine di modernizzare e ottimizzare la futura rete ATM europea.

Gli obiettivi di SESAR si basano su una serie di elementi e caratteristiche chiave [118]:

- l'introduzione del network manager, che prevede una gestione delle funzioni della rete ATM (progettazione dello spazio aereo, gestione dei flussi) unica e centralizzata, come definito nel regolamento UE n. 677/2011;

---

<sup>12</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

- la completa integrazione delle attività aeroportuali nella gestione del traffico aereo, al fine di rendere il sistema più robusto ed efficiente;
- l'introduzione dei servizi di gestione degli aeroporti da remoto (Remote Tower Services), supportati da nuovi strumenti di realtà aumentata in grado di garantire anche a distanza agli operatori di traffico aereo di avere un elevato grado di *presence sense* e di *situational awareness*;
- la gestione delle rotte di volo in modo da ridurre al minimo i vincoli nella gestione del traffico, attraverso l'introduzione dei concetti "rotte libere" (*Free Route*) e di "operazioni basate sulla traiettoria" (*Trajectory Based Operation*);
- l'adozione del sistema di gestione dei dati SWIM (System-Wide Information Management), che permetterà di collegare tutti i soggetti coinvolti nella gestione del traffico attraverso la condivisione dei dati;
- l'introduzione di nuove funzioni automatiche che permettano di ridurre il carico di lavoro su piloti e controllori di volo e di gestire al meglio i complessi processi decisionali;
- lo sviluppo di un'infrastruttura CNS (Communication Navigation e Surveillance) che sfrutta l'utilizzo di nuovi sistemi di posizionamento (PNT, SBAS e GBAS), di sorveglianza (ad esempio l'ADS-B multi-sorgente), nuovi sistemi di comunicazione (AeroMACS, LDCAS e SATCOM), ma anche lo sviluppo di nuove tecniche e protocolli per l'integrazione dei dati provenienti da diverse fonti per migliorare l'efficienza e l'affidabilità dei servizi di gestione del traffico aereo.

Le principali opportunità relative a questa tematica sono i fattori di carattere economico legati all'incremento del traffico aereo; la generale politica di efficientamento del sistema dei trasporti anche a vantaggio di una maggiore sostenibilità economica e ambientale; gli investimenti da parte della Comunità Europea sulla tematica e rete di collaborazioni di ricerca già avviate; la buona sinergia tra sviluppi tecnologici e adeguamenti di tipo normativo in atto a supporto dello sviluppo, la buona integrazione delle realtà italiane nella progettualità a livello Europeo; la sostanziale convergenza di obiettivi tra Europa e altre realtà leader in questo Settore (Stati Uniti e Asia).

Tra i punti di forza vanno segnalati il coinvolgimento della Campania in molti progetti Europei sulla specifica tematica e su tematiche affini; le notevoli competenze nel comparto dei sistemi aeronautici e di terra, nelle tecnologie dell'informazione a supporto, nella radaristica, nella logistica, nelle metodologie a supporto della pianificazione del traffico aereo, etc.

Non si individuano significative minacce se non il fatto che la convalida dei risultati in scenari reali, o in ambienti simulati (utilizzando dati reali)

hanno permesso di valutare solo alcuni dei rischi connessi alla R&D e all'industrializzazione delle tecnologie.

#### 2.2.4 Sistemi di guida navigazione e controllo autonomi avanzati, miniaturizzati e light weight, anche per le altissime velocità<sup>13</sup>

L'aumento della domanda di UAV di piccole dimensioni che svolgono missioni in modo autonomo o semi-autonomo ha fatto nascere la necessità di sviluppare sistemi di GN&C più piccoli e affidabili.

L'avvento dei sensori MEMS (*Micro Electro-Mechanical Systems*) e lo sviluppo di ricevitori GNSS autonomi, come quelli utilizzati negli smartphone, consente di creare sistemi AHRS (*Attitude Heading Reference System*) che grazie alle loro dimensioni compatte, al basso peso, costo e consumo energetico, possono essere montati su micro/mini UAV.

Un esempio di sistema GNC light weight è il *self-contained avionics sensing and flight control system for small UAV*, brevettato dalla NASA [119], composto da sensori per il rilevamento dei dati di volo e di sorveglianza, da un micro-controllore in grado di elaborare tali dati e controllare il velivolo. Sempre la NASA ha brevettato il sistema Safe2Ditch [120], in grado di riportare in condizioni di sicurezza il velivolo in situazioni di emergenza.

La DARPA ha avviato nel 2017 il programma *Fast Lightweight Autonomy (FLA)* [121] il cui obiettivo è quello di esplorare metodi di *perception* e autonomia non tradizionali che potrebbero consentire lo sviluppo di una nuova classe di algoritmi per la navigazione ad alta velocità in ambienti ristretti e disordinati.

L'EDA ha in corso numerose attività relative ai sistemi GN&C dei velivoli unmanned. Tra questi, i progetti NICE (*Nonlinear Innovative Control designs and Evaluations*) [122], RADVS (*Radar Altimeter & Doppler Velocity Sensor*) e ADM-H (*Autonomous Decision Making based coordination techniques for Heterogeneous autonomous vehicles*) [123].

Negli ultimi anni, la ricerca sugli UAV si è spinta verso l'uso di flotte di velivoli per perseguire gli obiettivi di una data missione. Molti progetti nel corso degli anni hanno studiato e testato la possibilità di utilizzare gruppi di UAV per trasportare un carico [124] o come sistemi di copertura wireless in aree critiche [125]. Il progetto LOCUST (*Low Cost UAV Swarming Technology*) della US office Naval Research, ha come oggetto di studio uno *swarm* di UAV low-cost ad ala fissa che possa svolgere in modo autonomo operazioni di difesa e di attacco militare.

---

<sup>13</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

L'utilizzo di una flotta o uno swarm di UAV richiede lo sviluppo di sistemi in grado di coordinare e gestire contemporaneamente più velivoli, in modo da avere un comportamento cooperativo sicuro ed efficiente. Per fare ciò è necessario, ripensare il sistema GNC del singolo velivolo.

L'UE ha finanziato negli anni numerose iniziative relative all'uso di flotte di UAV cooperanti, come ad esempio il progetto COMETS (*real Time COordination and control of Multiple heterogeneous unmanned aerial vehiclES*) [126], il progetto AEROWORKS (*Collaborative Aerial Robotic Workers*) [127], o ancora il sistema SWARM sviluppato da Vitrociset [128].

La ricerca sui sistemi GN&C per i velivoli *unmanned* si muove in molteplici direzioni. Da una parte vi è lo sviluppo di algoritmi e tecniche di controllo, guida e navigazione che coinvolge principalmente il mondo accademico; dall'altra parte vi è lo sviluppo e l'industrializzazione di componenti elettronici (sensori, microcontrollori, antenne, etc.) sempre più leggeri, affidabili, e con maggiore capacità di calcolo, affidata alle aziende.

Le innovazioni relative sistemi GN&C per velivoli *unmanned*, possono in futuro trovare applicazioni sia sui velivoli *manned* che in settori diversi come l'*automotive* o la robotica.

Un elemento importante da valutare sarà l'evoluzione della normativa per le operazioni dei velivoli senza pilota che al momento rappresenta uno degli ostacoli alla diffusione del loro utilizzo. È presumibile che questa evoluzione seguirà in qualche modo l'aggiornarsi delle tecnologie per poter garantire maggior sicurezza al volo pilotato in remoto e autonomo.

La regione Campania possiede le competenze necessarie allo sviluppo di questa tematica. Gruppi di ricerca Universitari e enti di Ricerca hanno prodotto negli ultimi anni numerose pubblicazioni scientifiche che attestano le loro competenze nello sviluppo e implementazione di nuovi algoritmi e tecnologie di GN&C. Oltre alle competenze del mondo accademico, va sottolineato che in Campania sono presenti aziende impegnate nello sviluppo di componenti elettrici, sensori e sistemi integrati, che sono necessari per la realizzazione di un sistema GNC.

### **2.2.5 Sistemi di telecomunicazione Superficie-Velivolo e Velivolo-Satellite, componenti TLC airborne miniaturizzati e light weight<sup>14</sup>**

I sistemi di telecomunicazione superficie-velivolo hanno lo scopo di assicurare la comunicazione con l'ATC o con una qualsiasi stazione di terra.

---

<sup>14</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli" & Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Tralasciando la comunicazione vocale diretta tra pilota e ATC, possibile solo a brevi e medie distanze, i sistemi di comunicazione si basano sullo scambio di segnali digitali detti datalink. Essi possono essere divisi in due categorie. I sistemi di comunicazione satellitare permettono il trasferimento di una grossa mole di dati, con elevato data-rate, anche a notevole distanza. Tuttavia, tali sistemi hanno lo svantaggio di avere tempi di ritardo dell'ordine del secondo, per cui non possono essere usati per le comunicazioni tra velivolo e ATC in prossimità dell'aeroporto. I sistemi di comunicazione di terra invece sono sistemi a breve raggio che utilizzano una rete di stazioni di terra. Essi permettono comunicazioni a breve e a medio raggio quasi immediate (tempo di latenza dell'ordine dei decimi di secondo), e hanno un basso data rate. Attraverso il datalink è possibile sostituire gran parte delle comunicazioni voce con comunicazioni-testo CPDLC (*Controller Pilot Data Link Communications*), rendendo più fluida l'interazione fra controllori di volo e pilota.

L'UE, nell'ambito delle normative a supporto del SES, ha emanato delle direttive sull'interconnessione delle varie reti nazionali (Pan European Network Service – PENS). L'utilizzo di comunicazioni in datalink permette di condividere le informazioni sul traffico aereo, i voli, lo stato dei velivoli con i diversi attori coinvolti. A questo scopo, Eurocontrol, intende creare un sistema di comunicazione digitale a livello aeroportuale per compagnie aeree, autorità aeroportuali e fornitori dei servizi di controllo del traffico aereo (AeroMACS - *Aeronautical Mobile Airport Communication System*). Tale sistema sarà utilizzato per comunicazioni AOC (*Airline Operating Company*) dalle compagnie aeree, per la videosorveglianza aeroportuale, per comunicazioni ATC relative al servizio di Torre e di Ground e per la gestione dei dati meteo.

I sistemi datalink sono ampiamente utilizzati per il controllo e la gestione dei velivoli unmanned. La rapida evoluzione tecnologica di questa classe di aeromobili ha consentito di mettere a punto sistemi con autonomia sempre più elevata, in grado di operare a grandi distanze dalle stazioni di controllo, ed equipaggiati con payload sensoristici comprendenti radar ad apertura sintetica, sensori multispettrali e telecamere digitali avanzate, in grado di trasmettere a terra in tempo reale una rilevante quantità di dati. Emerge, quindi, immediatamente l'indispensabilità di sottosistemi di comunicazione per droni e velivoli a pilotaggio remoto con requisiti prestazionali superiori a quelli per i velivoli con equipaggio a bordo. Solitamente i sistemi datalink sui velivoli unmanned vengono implementati in configurazione duplex o half duplex.

Dal punto di vista sistemistico si è avuta negli ultimi anni una corsa a realizzare sistemi sempre più avanzati e compatti al fine di poter installare

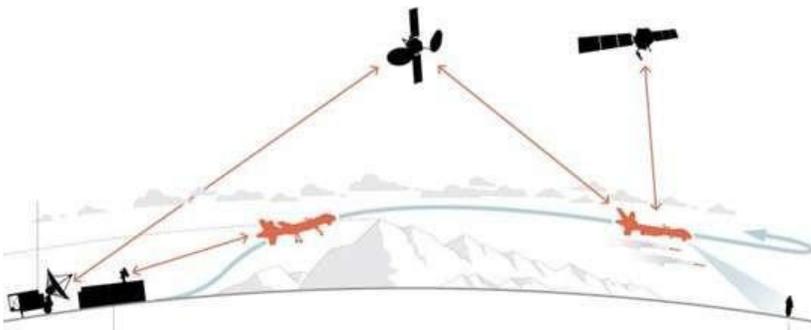
equipaggiamenti di comunicazione altamente performanti anche in droni e velivoli a pilotaggio remoto di piccole e piccolissime dimensioni.

Oltre alle prestazioni in termini di miniaturizzazione, data throughput, distanza di copertura, latenza e integrità del segnale trasmesso e ricevuto, molto importante è la capacità di resistere a disturbi intenzionali come lo jamming (invio di rumore sulla banda di frequenza utilizzata al fine di saturare il segnale) e lo spoofing (invio di dati posizione e/o navigazione errati al fine di compromettere la guida ed il controllo dell'aeromobile) che rappresentano le maggiori minacce da parte operatori ostili intenzionati a compromettere la missione dal velivolo.

Tale tematica suscita un forte interesse industriale anche nella Campania. Infatti, come previsto dai programmi SESAR e NextGen, l'accesso dello spazio aereo a molteplici UAV di piccole dimensioni, con elevato grado di autonomia, rende necessario lo sviluppo di nuovi sistemi di comunicazione con l'ATC in grado di assicurare la security. A questo proposito va ricordato il progetto DroC2mm (*Drone Critical Communications*) [129], che mira a progettare un'architettura di comunicazione ibrida che combina reti cellulari e satellitari, in modo da garantire a tutti gli UAV la fornitura dei servizi U-space.

Tra le opportunità legate a questo tema si segnalano: mercato dinamico e caratterizzato da forti trend di crescita; investimenti da parte della Comunità Europea e del Governo italiano; forte interesse dell'ASI nella programmazione 2017-2020 anche per le possibili sinergie con EGNOS; la possibilità di sfruttare tecnologie già impiegate in ambito militare; la sinergia con altri settori dell'ingegneria, come telecomunicazioni, ed elettronica.

Va tuttavia sottolineato comunque che il contesto campano è costituito da molte PMI che devono fare i conti con una forte concorrenza a livello internazionale.



**Figura 2** – Sistema di comunicazione tipico di un drone.

Punti di forza sono la presenza sul territorio di attori con esperienze e competenze necessarie; la possibilità di collaborare con partner internazionali; possibilità di raggiungere sinergie significative con tecnologie affini (e.g. UAS); la possibilità di focalizzare investimenti in ambiti tecnologici precisi; la tecnologia può essere sviluppata con investimenti economici relativamente contenuti, quindi anche da PMI ed enti di ricerca; la prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università.

Punti di debolezza: tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali; scarsa partecipazione degli attori campani nei progetti europei.

### *2.2.6 Visione sintetica ed aumentata per la navigazione avanzata, specie per le altissime velocità<sup>15</sup>*

Un sistema di visione sintetica (SVS - *Synthetic Vision System*), è in grado di fornire ai piloti un'intuitiva rappresentazione spaziale dell'ambiente in cui stanno volando. Tale sistema permette di visualizzare su display appropriati come i display *head-down*, *head-up*, o su sistemi integrati nella visiera (*helmet-mounted*), i dati relativi al velivolo (posizione, e dati di navigazione), e all'ambiente circostante combinandoli con altre informazioni provenienti dall'ATC, da sensori di visione, mappe, etc. La visione sintetica aiuta il pilota a migliorare la consapevolezza della sua posizione rispetto all'ambiente circostante (*situational awareness*) integrando dati provenienti da database diversi (ostacoli, mappe di navigazione, orografia) in un'unica prospettiva tridimensionale.

Boeing e NASA stanno studiando un sistema di visione sintetica combinato [130] che consente al pilota di avere una visione dell'esterno chiara in qualsiasi situazione meteorologica. Un simile sistema è "indipendente dalle condizioni meteo" e permette di vedere come appare l'ambiente in condizioni climatiche ideali.

La visione sintetica può essere di ausilio non solo ai piloti ma anche ai controllori di traffico aereo. Nel progetto RETINA (*Resilient Synthetic Vision for Advanced Control Tower Air Navigation Service Provision*) [131] l'uso della *synthetic vision* e dell'*augmented reality*, ha permesso lo sviluppo di particolari occhiali che permettono di vedere sovrapposte, all'attuale vista reale *out-of-window*, informazioni sintetiche relative all'aeromobile, alla velocità del vento, alle condizioni della pista etc.

Gli SVS possono trovare largo impiego nel campo dei velivoli unmanned [132]. Per questo tipo di velivoli i livelli di autonomia possono variare

---

<sup>15</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

significativamente in considerazione del tipo di velivolo e del suo stato operativo. I possibili scenari operativi vanno da un estremo in cui il pilota nella Ground Control Station (GCS) ha il controllo diretto dell'UAV (modalità RPAS) in maniera del tutto simile ad un velivolo tradizionale, all'altro in cui l'UAV è completamente autonomo, al punto da non richiedere un collegamento permanente di controllo e in cui è richiesto l'intervento umano solo nei casi speciali (emergenza, cambio missione, etc.), comprendendo nella maggior parte dei casi soluzioni intermedie.

Nel caso di velivoli comandati a distanza, i sistemi di visione sintetica possono essere impiegati per aumentare la *situational awareness* dei piloti di RPAS [132] [133], o come supporto alla guida completamente autonoma degli UAV [134] [135]. Nei sistemi UAV pilotati da remoto la posizione del pilota, distante rispetto al velivolo, crea una condizione operativa critica per il pilotaggio, visto che risulta difficoltoso ottenere una completa *situational awareness*. Per contribuire ad aumentare la *situational awareness* del pilotaggio da remoto di UAV si può puntare sulla visione reale immersiva a distanza di video stereoscopico [136]. Le immagini riprese da un sistema di telecamere stereoscopico montato su una testa motorizzata vengono trasmesse a terra e visualizzate dal pilota su un *Head-Mounted Display* (HMD). Il movimento della testa del pilota lungo gli angoli di *pan* e *tilt*, rilevato attraverso un *tracker* di orientamento installato sul casco, viene, viceversa, trasmesso a bordo per comandare l'orientamento del sistema di acquisizione. Questo consente di emulare la visione binoculare umana a distanza, con la libertà di orientare la direzione di vista in modo naturale. In tal modo il pilota ha la sensazione di "essere a bordo" del velivolo, e una maggiore consapevolezza sugli effetti dei comandi impartiti durante le manovre del velivolo quando questo viene guidato manualmente, soprattutto durante le fasi critiche (as esempio l'atterraggio [134]).

Le tematiche legate alla visione sintetica o agli strumenti di realtà aumentata sono negli ultimi anni molto studiate, non solo per le possibili applicazioni aeronautiche. Va tuttavia sottolineato, che tale tematica presenta ancora un basso TRL, indice di una scarsa maturità delle tecnologie associate.

### 2.2.7 All Electric Aircraft (ivi inclusi sistemi per velivoli con propulsori ibridi ed elettrici)<sup>16</sup>

Questo paragrafo sviluppa anche i temi dei *Sistemi di controllo della potenza, in grado di modificare automaticamente il settaggio ed il controllo del motore in*

---

<sup>16</sup>Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli" e Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

*funzione di carico, condizioni di volo, stato della macchina e dei Sistemi secondari di produzione e distribuzione dell'energia.*

Nell'ottica di ridurre l'impatto ambientale causato dal trasporto aereo, attualmente responsabile di circa il 2% delle emissioni annue di CO<sub>2</sub> [137], [138], uno degli obiettivi dell'industria aeronautica è la graduale sostituzione dei sistemi di bordo idraulici, meccanici e pneumatici con sistemi elettrici. A questa si lega il concetto di *More Electric Aircraft* (MEA) e del più futuristico *All Electric Aircraft* (AEA). Uno studio effettuato dalla NASA ha dimostrato che usare più tecnologie elettriche su un velivolo da 200 passeggeri potrebbe portare ad una riduzione del 10% del peso a vuoto dell'aereo, a una riduzione del 13% della spinta richiesta dal motore e a una riduzione del 9% della combustione di carburante [139].

Le strade percorribili nella direzione del "More Electric" sono due: da una parte c'è la graduale elettrificazione dei sistemi di bordo, dall'altra lo sviluppo di nuovi sistemi propulsivi.

Gli attuali progressi relativi all'elettrificazione dei sistemi di bordo possono essere raggruppati per categorie: comandi di volo, controllo del propulsore, generazione d'energia e sistemi di distribuzione dell'energia.

Il sistema di comandi di volo fornisce parecchi esempi dell'evoluzione tecnologica dal sistema tradizionale di attuazione idraulica dei comandi al sistema *fly by wire* (FBW) e l'eventuale *power by wire* (PBW) [140], mirati a ridurre il peso del velivolo, migliorarne la disponibilità e facilitarne la manutenzione. In questo ambito la ricerca è impegnata nella progettazione e nello sviluppo di nuovi sistemi di attuazione, quasi sempre basati su sistemi elettromeccanici (EMA) o elettro-idraulici (EHA).

Il progetto HP-SMART EMA (*Development of high power density electrical actuators*) [141] ha sviluppato sistemi di attuazione intelligenti connessi all'unità di controllo della turbina del motore in modalità plug-and-play per incorporare flessibilità e modularità. Sono usati per controllare la posizione degli ipersostentatori del bordo d'attacco di un elicottero.

Il progetto Flight-EMA [142] finanziato dall'UE ha visto lo sviluppo e il test di un attuatore per un timone di direzione. La campagna di est è stata eseguita sul banco di prova COPPER-BIRD sviluppato nell'ambito dei progetti CleanSky per i velivoli commerciali.

Il progetto ACTUATION2015 [143] prevedeva lo sviluppo e la convalida e la standardizzazione di alcuni moduli EMA (comprensivi di elettronica, sensoristica, motori, e attuatori) per tutti i tipi di attuatore (carrelli, superfici di controllo, inversori di spinta, porte, etc).

I progetti VALEMA [144] e EMA4FLIGHT [145] prevedono lo sviluppo e la convalida di attuatori EMA e dell'unità di controllo per l'azionamento delle superfici mobili.

La necessità di sopportare carichi più consistenti sul sistema elettrico costringe a ripensare la struttura dell'impianto elettrico di bordo. Il sistema elettrico consiste normalmente in una combinazione di tensioni a 28 Volt con corrente continua (DC) e 115 Volt con corrente alternata (AC) a 400 Hz. L'uso di tensioni maggiori per la distribuzione permette di ridurre il peso, della sezione dei cavi e delle perdite e di ottenere un incremento della potenza trasmissibile. L'esatto valore della tensione è, tuttavia, determinato da un numero di fattori come la disponibilità di componenti adeguati a sopportare tali tensioni, e dai rischi dell'effetto corona alle alte altitudini per via della riduzione di pressione. Tuttavia, adottando nuove modalità di generazioni a frequenze variabili, viene richiesto l'uso dell'elettronica di potenza per convertire le uscite dei generatori a nuovi valori di tensioni, come 270, 350 o 540 Volt. Ad oggi sono allo studio differenti tipologie di sistemi di distribuzione della potenza elettrica [146] (*Electric Power Distribution System*).

La progressiva elettrificazione dei servizi di bordo comporta un aumento dei carichi elettrici del velivolo con pesanti ripercussioni per i sistemi di generazione. Per indirizzarsi verso questi cambiamenti, molti studi sono rivolti verso il così detto *More Electric Engine* (MEE) [9]–[12], nel quale il motore di avviamento e il generatore sono integrati all'interno del motore principale per generare energia elettrica e allo stesso tempo permettere l'avviamento del propulsore. L'integrazione della macchina elettrica all'interno del motore cambia il percorso del flusso dell'aria all'interno del propulsore, modificandone l'efficienza. Il MEE comporta una revisione dei componenti meccanici e termici del motore in modo da ottimizzarne il funzionamento.

Per alimentare elettricamente un velivolo, sarebbe necessario installare a bordo delle enormi batterie, che porterebbero a un aumento del peso e ad una riduzione dello spazio disponibile. Per questo motivo, la ricerca si sta concentrando su due direzioni principali. La prima riguarda lo sviluppo di nuove batterie, che abbiano una densità energetica più elevata e che consentano di raggiungere la parità con i carburanti convenzionali; la seconda, invece, parte dall'idea di progettare un materiale robusto e capace di accumulare e scaricare energia, che possa essere impiegato come rivestimento del velivolo. In particolar modo sono oggetto di studio le batterie litio-aria [152], le batterie litio-metallo [153] [154], e quelle a stato solido [155], che potrebbero portare ad un salto di qualità notevole.

Accanto a questi sistemi di immagazzinamento dell'energia vanno considerati, le celle solari, i supercondensatori e le celle a combustibile.

Il progetto della NASA M-SHELLS si basa sull'idea di realizzare dei materiali capaci di sopportare sforzi strutturali e, nello stesso tempo, di immagazzinare energia. In questo modo, non sarebbe più necessario installare batterie a bordo, perché lo stesso rivestimento del velivolo sarebbe capace di fungere da batteria. Per ottenere migliori prestazioni, inoltre, i ricercatori stanno valutando la possibilità di combinare le proprietà di batterie e supercondensatori: le batterie riescono a immagazzinare energia, mentre i supercondensatori sono capaci di caricarsi e scaricarsi velocemente. Così facendo, si ridurrebbero notevolmente i tempi di ricarica [156]. Infine, questa tecnologia potrebbe portare ad una diminuzione del peso complessivo del velivolo di quasi il 25%, rispetto al caso convenzionale in cui le batterie sono separate dalla struttura [157].

Anche lo sviluppo degli UAV ha contribuito a sviluppare sistemi di propulsione elettrica o ibrida. Gli UAV della NASA Pathfinder, Pathfinder Plus, Centurion e Helios o il Solar Impulse 2 dell'Università di Losanna sono esempi di velivoli alimentati con energia solare e celle di combustibile [158],[159] [160]. Altri velivoli a propulsione elettrica sono velivoli a decollo e atterraggio verticale (*Vertical Take Off & landing* - VTOL) [161]. Il progetto Boeing Fuel Cell Demonstrator ha utilizzato un aliante a motore Super Diamond HK-36 come banco di prova per un aereo alimentato a celle a combustibile a idrogeno [162].

L'UE ha finanziato diversi progetti a basso TRL per velivoli innovativi a propulsione elettrica o ibrida: Project Zero di Augusta Westland (LEONARDO) dimostratore tecnologico per un convertiplano V/STOL 2011 [163], [164]; CityBus di Airbus, un VTOL elettrico multi-rotore, progettato per trasportare quattro passeggeri [165], [166].

Vanno poi ricordati i sistemi elettrici distribuiti sviluppati dalla NASA per il velivolo X-57 Maxwell, sviluppato nell'ambito del progetto SCEPTOR che avrà 18 motori elettrici che azionano altrettante eliche [167].

Per quanto riguarda la propulsione ibrida, negli ultimi anni sono stati lanciati una serie di progetti che mostrano le potenzialità di tale tecnologia. Il progetto ZUNM AERO [168], sostenuto da Boeing e JetBlue, sta lavorando dal 2013 su una famiglia di velivoli regionali elettrici ibridi da 10 a 50 posti. Il 28 novembre 2017, Airbus ha annunciato una partnership con Rolls-Royce e Siemens per sviluppare un velivolo ibrido, chiamato E-Fan X. Sul velivolo verranno installate batterie al litio e uno dei motori verrà sostituito con una unità elettrica da 2 MW di potenza (motore che è già stato testato a terra in condizioni di sicurezza). Progressivamente poi si potrà procedere con la sostituzione delle altre tre unità propulsive. L'aereo non sarà alimentato solo dalle

batterie, ma a bordo troverà posto anche un generatore a carburante, sempre da 2 MW, per mantenere carichi gli accumulatori come avviene già oggi in alcune vetture ibride.

L'UE ha finanziato i progetti HYPSTAIR [169], HEMAP [170], H3PS [171] rivolti alla progettazione di sistemi di propulsione ibrida seriale per velivoli di aviazione leggera e aviazione generale.

Il coinvolgimento delle maggiori aziende aeronautiche, delle agenzie spaziali, ma anche delle compagnie di trasporto aereo dimostra l'interesse in questo settore. Infatti, in moltissimi paesi europei, sono stati finanziati progetti che prevedono lo sviluppo di velivoli che abbiano impatto ambientale minore. In questo ambito vanno annoverate le iniziative di CleanSky relativi al *Sustainable and Green Engines* [172] e ai *System for Green Operations* [173], ma anche i numerosi programmi sia europei che americani relativi al concetto di MEA e AEA.

Esempi di aeromobili MEA sono già operativi, basta pensare al Boeing 787 o all'Airbus A380. Per quanto riguarda invece lo sviluppo di velivoli *full-electric*, si possono trovare numerosi esempi nel settore unmanned.

In Campania, numerose aziende, le università e i centri di ricerca sono coinvolti in progetti europei relativi a questa tematica, nell'ambito dei programmi CleanSky e CleanSky 2.

Le numerose attività legate allo sviluppo del MEA e la creazione di consorzi e partenariati hanno permesso, e permetterà in futuro, anche ad aziende più piccole di partecipare ai progetti europei relativi a questa tematica, insieme ai colossi del settore aeronautico (Airbus, Boeing, Leonardo), e i numerosi centri di ricerca sia italiani che esteri.

Tra le opportunità legate alla tematica vanno citate l'impegno della ricerca e a ridurre l'impatto ambientale dell'aviazione anche in vista dell'aumento previsto del volume di traffico aereo; la possibilità di utilizzare i velivoli unmanned come dimostratori tecnologici di soluzioni full-electric; il forte interesse dimostrato da parte delle maggiori aziende aeronautiche, delle agenzie spaziali, ma anche delle compagnie di trasporto aeree; ei grossi investimenti della Comunità Europea relativa alla tematica con la creazione di partenariati pubblici-privati come CleanSky JTI.

I punti di forza legati alla tematica sono la possibilità di sfruttare le conoscenze e i progressi tecnologici legati ad altri settori ingegneristici (come ad esempio i settori dell'energia e dell'automazione industriale); e il coinvolgimento di numerose aziende campane, università e i centri di ricerca in progetti Europei relativi a questa traiettoria tecnologica.

Va tuttavia sottolineato che, sebbene la Campania sia coinvolta in molti progetti legati alla tematica, il contesto industriale campano è per lo più

caratterizzato principalmente da PMI spesso fortemente dipendenti dalle grandi aziende internazionali.

### *2.2.8 Sistemi per il monitoraggio avanzato la sorveglianza del territorio, confini, ed infrastrutture di trasporto, per la neutralizzazione a distanza di velivoli o imbarcazioni<sup>17</sup>*

La diffusione sempre maggiore, nell'ultimo decennio, di droni ed aeromobili a pilotaggio remoto (RPAS) pone oggi crescenti problematiche in termini di sicurezza. È notizia degli ultimi tempi l'avvistamento di droni presso l'aeroporto londinese di Gatwick che ha comportato la sospensione dei voli con conseguente rilevante impatto sull'economia della capitale britannica.

La minaccia costituita dalla perdita di controllo accidentale di droni o RPAS rappresenta una problematica di sicurezza di primaria importanza che presumibilmente acquisterà progressivo peso nei prossimi anni a causa del previsto incremento della diffusione di questo tipo di piattaforme volanti. In aggiunta alle cause di tipo accidentale di perdita di controllo del velivolo, grossa attenzione è rivolta a scenari di tipo terroristico dove i droni possono essere utilizzati per compiere attentati trasportando ordigni a bordo.

Al fine di contenere questi tipi di minacce forte impulso è stato dato nella messa a punto di sistemi per neutralizzare a distanza questi aeromobili, attingendo alle tecnologie di uso militare nel campo della guerra elettronica. I sistemi generalmente proposti agiscono sull'elemento più vulnerabile di questo tipo di piattaforme, che è il link di collegamento con la stazione di comando e controllo ed il link di ricezione con i sistemi di ausilio alla navigazione rappresentato generalmente dal sistema GPS.

Investire nella realizzazione di sistemi per la neutralizzazione di piattaforme volanti non pilotate è una prospettiva sicuramente interessante, foriera di crescenti opportunità viste le ottimistiche previsioni circa la diffusione di questa categoria di aeromobili, che si tradurrà inevitabilmente in requisiti di sicurezza sempre più stringenti.

Tra le opportunità legate a questa tematica si segnalano: un mercato dinamico; una sempre maggiore consapevolezza dei governi e dell'opinione pubblica dell'importanza del tema; investimenti da parte della Comunità Europea e del Governo italiano; il fatto che si tratta di una tecnologia fortemente duale (militare - civile) con possibili ricadute in altri ambiti della sorveglianza.

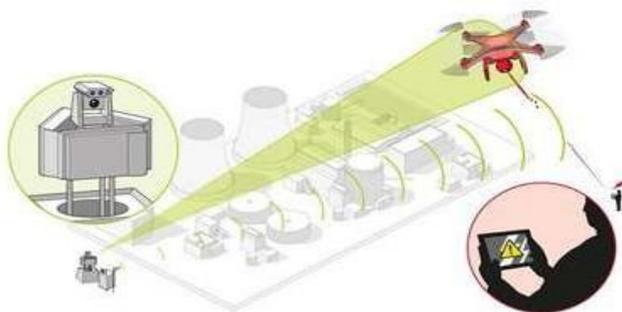
---

<sup>17</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Tra le minacce: una forte concorrenza a livello internazionale; l'esistenza di progetti avviati a livello mondiale.

Tra i punti di forza si segnala la presenza sul territorio di attori scientifici e industriali con esperienze e competenze necessarie; la possibilità di collaborare con partner internazionali; la possibilità di raggiungere sinergie significative con tecnologie affini (e.g. UAS); la possibilità di focalizzare investimenti in ambiti tecnologici precisi; la tecnologia può essere sviluppata con relativamente contenuti investimenti economici, quindi anche da PMI ed enti di ricerca; la prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università.

Tra i punti di debolezza c'è un tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali; una scarsa partecipazione degli attori campani nei progetti europei.



**Figura 3** – Sistema di Jamming per la neutralizzazione di droni.

### *2.2.9 Virtual design & testing nell'ambito delle fasi di qualifica ed omologazione di parti, componenti e sistemi<sup>18</sup>*

Nella progettazione di componenti di velivoli, le tensioni indotte nei componenti, come risultato del carico esterno, devono necessariamente essere al di sotto del valore di tenuta del materiale. Quindi, le parti della struttura soggetta ai carichi devono subire inevitabilmente deformazioni elastiche e qualsiasi deformazione plastica deve essere localizzata. L'ottenimento di tale obiettivo passa attraverso il miglioramento delle proprietà meccaniche dei materiali utilizzati rendendo possibile la riduzione delle dimensioni degli elementi strutturali e ottenendo un notevole risparmio di peso. La riduzione di peso dei componenti è sempre stato l'obiettivo dell'industria aerospaziale ovviamente senza compromettere l'integrità strutturale del sistema che essi includono. Recentemente, il rafforzamen-

---

<sup>18</sup> Università degli Studi del Sannio di Benevento.

to attraverso l'uso delle nanoparticelle (nano-filler) nella resina polimerica aerospaziale ha mostrato la capacità di fornire maggiori proprietà meccaniche e di resistenza a fatica. In questo contesto, risulta di fondamentale importanza l'utilizzo del *visual testing* e della sua applicazione nell'industria aerospaziale che è stata promossa da Bahram Farahmand [174] nei primi anni '90 durante il suo lavoro nel progetto International Space Station (ISS). Il successo di tale tecnica sta nella capacità di avere dati previsionali che mostrano un'ottima congruenza con i dati generati dai test standard normati dalla American Society for Testing and Materials International (ASTM) che risultano costosi essendoci difficoltà associate alla preparazione del campione da un lato e alla registrazione e monitoraggio dei dati dall'altro. Un importante risultato dell'applicazione del Virtual testing fa sicuramente riferimento all'analisi della resistenza alla frattura e alla propagazione della cricca di un materiale.

Storicamente, l'analisi strutturale nella progettazione degli aerei commerciali è stata basata sull'analisi lineare ad elementi finiti (FEM *finite element method*) per il calcolo della distribuzione del carico interno, per l'uso di metodi di stress analitici, per il dimensionamento iniziale e per le certificazioni finali dell'aeromobili. Questo approccio, combinato con test strutturali confronta sia l'integrità strutturale dell'aereo sia l'adeguatezza all'aeronavigabilità, ed è risultato essere altamente affidabile. I modelli ad elementi finiti utilizzati per il virtual testing possono essere estremamente complessi (Figura 4), pertanto l'applicazione delle migliori pratiche risultata fondamentale. L'utilizzatore dei modelli deve essere sicuro dei metodi e del software utilizzati e il costruttore di aeromobili (e in ultima analisi le autorità di aeronavigabilità) devono essere certi che l'approccio di virtual testing sia valido e sicuro, quindi può essere utilizzato allo scopo di dimostrare la reale resistenza della struttura dell'aeromobile [175].

Per il virtual testing di una struttura di base il modello di analisi dovrebbe essere normalmente costruito sulla geometria e sulle proprietà nominali; le successive valutazioni della forza dovrebbero quindi tenere conto della probabile variazione delle proprietà e delle costruzioni. I metodi analitici o convenzionali di analisi dello stress sono di solito basati su un set di ipotesi relative al comportamento strutturale e ad i vincoli del sistema. Questi presupposti rendono i metodi convenzionali meno flessibili e meno capaci di riflettere i dettagli dell'attuale progetto strutturale, richiedono anche l'approssimazione dei risultati con un certo grado di incertezza.

In linea di principio esistono due approcci diversi per eseguire virtual testing multi-scala:

- a) L'analisi viene effettuata su una determinata zona che viene ingrandita su diverse scale in maniera predeterminata in modo da modellarla fino

- a quando non si raggiunge il dettaglio richiesto. Lo scopo del modello globale è di fornire condizioni al contorno per i modelli in scala ridotta.
- b) I risultati dell'analisi di alto livello, usando il modello di Livello 1, permettono di prevedere le zone di interesse di analisi più dettagliata, in modo tale che ad ogni scala i risultati vengono analizzati fino ad identificare le regioni per la successiva analisi.

Entrambi gli approcci hanno sia dei vantaggi che degli svantaggi. Il primo approccio di analisi multi-scala può essere utilizzato solo dove l'area critica di interesse è ben nota, ma può beneficiare di simulazioni poco accurate per il primo livello. Questo approccio è anche utile quando si usa il modello di primo livello per definire i dati di input per altre tecniche di simulazione. Da un punto di vista del virtual testing però è il secondo approccio che ha di gran lunga la maggior rilevanza. Per questo approccio, infatti, non è necessario avere una zona di interesse predeterminata. Per quanto riguarda il visual testing applicato a strutture di velivoli in composito, è importante considerare le incertezze che vengono introdotte attraverso il processo di produzione delle stesse. Molti dei meccanismi di fratturazione che si verificano nei materiali compositi sono così localizzati e non è possibile catturarli sul modello a scala più ampia. Inoltre, i processi di produzione utilizzati introducono variabilità che devono essere considerate nell'analisi attraverso alcune ipotesi conservative o attraverso l'uso di metodi denominati di "*robust analysis*".



**Figura 4** – Modello strutturale di una fusoliera [175].

## *2.2.10 Sistemi avanzati di training per l'addestramento del personale di volo<sup>19</sup>*

L'importanza dell'addestramento dei piloti è stata fin dall'inizio del volo umano uno degli aspetti preponderanti. A tal proposito, i simulatori sono stati da sempre uno strumento chiave nella formazione dei piloti al fine di far acquisire loro dimestichezza con le diverse procedure e fasi del volo. Originariamente di natura puramente meccanica, i simulatori si sono evoluti percorrendo le tappe dello sviluppo tecnologico fino divenire oggi strumenti molto complessi in grado di riprodurre fedelmente sia i comportamenti caratteristici degli aeromobili sia le impressioni e gli effetti fisici che il volo provoca sul pilota. Ciò si traduce nella possibilità di replicare a terra le condizioni quanto più simili a quelle reali, consentendo una più facile familiarizzazione con il velivolo da parte dei meno esperti, ma anche la possibilità di effettuare un addestramento di mantenimento delle capacità da parte di chi già è in possesso delle qualifiche [176].

La tecnologia dei simulatori di volo è una realtà consolidata ed integrata verticalmente nell'ambito della formazione. Attualmente la più grande azienda produttrice di simulatori di volo è la canadese CAE Inc., che possiede una quota di mercato del 70% e 2,8 miliardi di dollari di ricavi annui.

E' possibile classificare le varie tipologie simulatori nelle seguenti categorie: Cockpit Procedure Trainer (CPT) (esercitazioni base in cabina), Aviation Training Device (ATD) (addestramento basico), Basic Instrument Training Device (BITD) (addestramento alle procedure di volo, Flight Training Device (FTD) (sia addestramento generico sia specifici aeroplani), Full Flight Simulator (FFS) (addestramento su specifici modelli di velivolo in base alla legislazione dell'autorità nazionale competente). Nei simulatori FFS tutti i sistemi rilevanti devono essere completamente simulati al pari dell'aerodinamica del velivolo. Tutti i simulatori FFS si compongono dei seguenti sottosistemi: Cockpit Section, Motion Platform, Visual System, Control Station.

A livello europeo diversi sono stati i progetti di ricerca incentrati sulla tematica dell'addestramento dei piloti mediante sistemi avanzati, fra questi il progetto SUPRA risulta essere stato il più importante. Principale scopo di quest'ultimo consisteva nel determinare l'utilità dei simulatori avanzati per insegnare ai piloti a riconoscere condizioni di volo in cui involontariamente determinati parametri oltrepassano le condizioni nominali.

I notevoli vantaggi introdotti dall'utilizzo dei simulatori per la formazione dei piloti, fra questi la significativa riduzione delle ore di volo e dei relativi

---

<sup>19</sup> Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

costi, unitamente ad un altro grado di maturità tecnologica (TRL 7) fa sì che investire nell'ulteriore sviluppo di 'Sistemi avanzati di training per il personale di volo' sia da ritenere una scelta proficua anche nel breve periodo. A tal riguardo i maggiori rischi ad essa connessa riguardano essenzialmente il perfezionamento di software/hardware, la reperibilità dei database necessari alle simulazioni e le procedure legate alla certificazione di metodi innovativi di addestramento.

## 2.3 Propulsione ed Efficienza energetica

### 2.3.1 Motori a pistoni per aviazione leggera e generale<sup>20</sup>

Questa tematica include anche *Sviluppo di sistemi di iniezione e sistemi di controllo motore per motori a pistoni con carburanti diesel, Jet A1, AVGAS e MOGAS.*

Fino al 1930 il sistema propulsivo dominante era costituito dai motori alternativi a pistone, in particolare radiali con raffreddamento ad aria, accoppiati alle eliche. La ricerca fino al 1940 è stata poi focalizzata su un approccio specifico mirato a migliorare le prestazioni dei motori alternativi, migliorando essenzialmente le proprietà di raffreddamento. Gli sforzi per migliorare le prestazioni dei motori aumentando la compressione, il numero di giri, e la sovralimentazione, richiesero di affrontare i problemi legati alla combustione incontrollata della miscela aria-combustibile dei motori a combustione interna in quanto provocava danni meccanici e il raggiungimento di temperature critiche nei cilindri e pistoni. L'introduzione di carburanti ad un alto numero di ottano era in grado di offrire un aumento di potenza dei motori solo per periodi brevi e inoltre questa condizione superava le capacità tecnologica di raffreddamento disponibile allora. Il ricorso alla iniezione di acqua e metanolo nel cilindro insieme alla miscela di carburante e aria semplicemente permetteva di assorbire calore e questa tecnologia è stata di interesse specifico della ricerca nel settore della propulsione per i successivi anni subito dopo la Seconda guerra mondiale proprio per i motivi appena citati. Dagli anni 40 inizia quindi la seconda rivoluzione aeronautica con l'introduzione delle turbine a gas. La ricerca si orientò inizialmente sui compressori assiali (anche se i primi motori installavano compressori centrifughi) e il rapido progresso ottenuto nel periodo post-bellico accelerò la transizione dai pistoni al jet.

Nel corso del tempo i motori a combustione interna sono quasi stati tutti soppiantati dai motori a turbina specialmente per i grandi velivoli. Gli attuali motori certificati sono essenzialmente il frutto di disegni degli anni 60 che

---

<sup>20</sup> Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

risultano tecnologicamente molto indietro se confrontati al rispetto al campo automobilistico. Tuttavia, la tecnologia dei motori alternativi fornisce prestazioni competitive per gli UAS, che operano nel subsonico a basse velocità, e ciò ha ravvivato la ricerca su progettazioni avanzate di motori a pistoni diesel, Wankel. Recentemente la ricerca è orientata sempre di più per approcci free-piston (incluso i cicli di Sterling), nel quale il moto dei pistoni non è controllato dall'albero motore, ma dalla interazione di forze tra i gas provenienti dalla camera di combustione.

Il FADEC è un sistema elettronico computerizzato che controlla il funzionamento del motore in tutte le sue fasi operative. Lavora in stretto contatto con gli altri sistemi dell'aeroplano e, oltre a supervisionare il motore, fornisce anche all'aereo le informazioni per le indicazioni in cockpit e monitorizza le condizioni del motore, facilitando la manutenzione e la ricerca di problemi. L'utilizzo del FADEC sui motori di nuova generazione permette notevoli vantaggi rispetto ai sistemi di controllo elettromeccanici tradizionali. La gestione del motore in tutte le sue fasi di funzionamento permette un'ottimizzazione delle prestazioni nelle varie fasi del volo, una gestione ottimale della spinta, una notevole riduzione dei consumi e delle emissioni inquinanti, dovuti ad una maggiore efficienza. Lo stretto controllo sul motore impedisce il superamento dei limiti, ad esempio di EGT o di velocità di rotazione, preservando la salute del motore, le sue capacità di monitorare e memorizzare i guasti facilitano inoltre gli interventi di manutenzione. Uno dei motori che sta riscuotendo un ritrovato interesse nel settore aeronautico è il motore diesel. Questa tipologia di motore è stata utilizzata in passato nei dirigibili ed è stata provata su velivoli tra la fine degli anni '20 e '30, ma mai ampiamente utilizzato. I principali vantaggi di questi motori sono l'eccellente consumo specifico di carburante e la densità leggermente superiore del combustibile rispetto alle benzine avio, ma esiste una combinazione di svantaggi intrinseci rispetto ai motori a benzina o turboelica. I motori diesel sono comunque più affidabili e molto più adatti a funzionare per lunghi periodi di tempo a medie potenze, motivo per cui sono ampiamente utilizzati, ad esempio, su camion e navi. Queste caratteristiche in particolare sono richieste per applicazioni specifiche nel settore degli UAS (Unmanned Aircraft Systems).

I miglioramenti della tecnologia diesel nelle automobili (che portano a rapporti potenza/peso molto migliori), la migliore efficienza del carburante diesel e l'elevata tassazione in Europa dell'AVGAS (Aviation Gasoline), [7] ossia un combustibile aeronautico ad alto numero di ottano utilizzato per gli aeromobili e nell'automobilismo sportivo) rispetto al Jet A1 (kerosene) [8] hanno portato ad una ripresa di interesse nell'uso dei diesel per aviazione nei primi mesi del 2010.

In molti casi, negli ultimi anni, diverse aziende hanno realizzato versioni aeronautiche di motori diesel ottenute modificando le versioni automobilistiche. Il gruppo Thielert Aircraft ha convertito i motori Mercedes diesel per autotrazione, li ha certificati per l'uso degli aeromobili ed è diventato fornitore OEM di Diamond Aviation per il loro gemello leggero. Inoltre, la stessa Sepre Thielert ha sviluppato un nuovo turbodiesel, modello AE300, anch'esso basato su un motore Mercedes. [9]

Attualmente sono disponibili velivoli leggeri prodotti con motori diesel e numerose società stanno sviluppando nuovi progetti di motori di questo tipo. Un altro tipo di motore alternativo che per applicazioni aeronautiche manifesta indiscussi vantaggi è il motore rotativo Wankel. Il motore Wankel pesa circa la metà e ha dimensioni quasi dimezzate rispetto a un tradizionale motore a pistoni a quattro tempi con uguale potenza; inoltre risulta meccanicamente molto meno complesso. Nelle applicazioni aeronautiche il rapporto peso/potenza è molto importante e questo rende il motore Wankel una buona scelta. [10]

Le sperimentazioni in questo ambito sono state molteplici. Al Berlin Air Show di aprile 2018, l'istituto di ricerca di Monaco Bauhaus Luftfahrt ha presentato un motore ad alta efficienza che combina un turbofan con un motore a pistoni. La ventola a 16 pale del diametro di 2,87 m fornisce un rapporto di bypass ultraelevato 33,7, ma il compressore ad alta pressione è azionato da un motore a pistoni con due banchi a 10 pistoni. Questo motore potrebbe alimentare un jet regionale da 50 posti.

Una iniziativa per lo sviluppo di un sistema FADEC in Italia, nell'ambito del programma H2020, è promossa da GE-Avio in Puglia nell'ambito dello sviluppo di un turboprop per il nuovo velivolo regionale. A livello di Regione Campania si segnala il propulsore certificato da CMD (Costruzione Motori Diesel).

### *2.3.2 Motori e sistemi propulsivi innovativi ibridi ed elettrici<sup>21</sup>*

Negli ultimi anni si è assistito ad un aumento degli investimenti nel settore della propulsione ibrida ed elettrica dovuto alle regolamentazioni sempre più stringenti sulle emissioni. Infatti, per garantire la sostenibilità a lungo termine dell'aviazione, sono fondamentali riduzioni significative della quantità di CO<sub>2</sub> emessa dagli aeromobili. Con gli attuali sistemi di propulsione questo obiettivo non può essere ottenuto.

Ad oggi, quindi, una delle maggiori sfide per il settore dell'aviazione è il passaggio ad un mezzo di trasporto con migliori prestazioni ambientali, che

---

<sup>21</sup> Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

sia più efficiente e meno dipendente dai combustibili fossili. Questi obiettivi non possono essere raggiunti dalle configurazioni usuali dei motori turbofan, oggi tanto diffusi nell'aviazione commerciale.

A tal proposito sono stati introdotti nuovi concetti di HEPS (*High Electric Propulsion System*), ovvero un sistema di propulsione che combina un sistema di propulsione convenzionale con un sistema di propulsione elettrica per ottenere migliori prestazioni generali e/o emissioni inferiori.

Il principale approccio alla generazione di energia elettrica per la propulsione aerospaziale sarebbe in teoria riferibile alle celle a combustibile, che presentano elevate efficienze, possono essere non inquinanti o a ciclo chiuso e possono essere applicate in modo distribuito.

Le limitazioni dei sistemi elettrici implicano che nel prossimo futuro saranno utilizzati maggiormente sistemi ibridi, che combinano le turbine a gas tradizionali con la potenza generata da generatori elettrici a bordo. Ma anche in questo caso i progettisti sono costretti a re-immaginare completamente i nuovi velivoli.

Anche con i recenti progressi sulle batterie, ci sono costrizioni fondamentali per far volare gli aeroplani con un sistema completamente elettrico.

Anche in questo ambito non mancano nuove proposte per sistemi di propulsione alternativi. Esse riguardano, ad esempio, lo sviluppo di cicli ibridi per sostituire il combustore e parti critiche dei compressori e delle turbine con dispositivi assolutamente innovativi, oppure *detonation engines & pressure gain engines, turbine combustors, distributed propulsion*, propulsori elettrici e infine i motori ibridi elettrici-turbina. Questi concetti sono diversi esempi di soluzioni di interesse attuale per la ricerca considerati dirompenti nel settore della propulsione aeronautica. Uno dei modi per migliorare l'efficienza degli aeromobili consiste nel ridurre la resistenza aerodinamica sull'aereo utilizzando i motori dell'aeromobile. Un nuovo tipo di sistema di propulsione utilizza un principio chiamato Ingestione dello strato limite (*Boundary Layer engine*). Studi analitici hanno dimostrato che questa nuova tecnologia ha il potenziale per ridurre il consumo di carburante degli aerei di quasi il 10% rispetto alle macchine odierne. Per quanto riguarda la generazione di energia elettrica ci si è focalizzati sulle celle a combustibile. L'efficienza delle celle a combustibile, in kilowatt per chilogrammo, è però di un ordine di grandezza inferiore a quella richiesta per i velivoli di grandi dimensioni, anche se diverse tecnologie avanzate sono progettate per essere in grado di ridurre tale divario. A lungo termine si prevede che l'applicazione di nanotubi a parete multipla alle celle a combustibile migliorerà le loro prestazioni fino a un ordine di grandezza.

Per applicazioni meno stressanti, vengono utilizzate batterie e condensatori (cioè dispositivi di accumulo elettrico in senso lato). Oggetto di un'intensa

ricerca, le capacità di stoccaggio dell'energia stanno migliorando rapidamente. Le fonti alternative a lungo termine per l'energia elettrica includono i volani a nanotubi di carbonio (CNT *carbon nanotubes*), l'energia a microonde, interiorizzata tramite "rectenne" recentemente migliorate, e l'immagazzinamento di energia magnetica superconduttore con magneti CNT.

Batterie e celle di combustibile sono al momento ancora troppo pesanti ed il calore generato dai cavi e dai componenti rappresenta un problema che deve essere risolto. C'è inoltre un maggior rischio di incendio usando alti voltaggi in atmosfere rarefatte ove operano gli aerei.

Una potenziale risposta è l'uso di batterie al litio-aria (Li-Air), che hanno la più alta capacità teorica di accumulo di energia di qualsiasi tecnologia a batteria. Le limitazioni derivanti dalle batterie ci fanno comprendere l'impossibilità attuale di far volare un velivolo con un sistema completamente elettrico.

Tra le varie iniziative sui sistemi propulsivi ibridi, il dimostratore di E-Fan X esplorerà le sfide dei sistemi di propulsione ad alta potenza, come gli effetti termici, la gestione della spinta elettrica, l'altitudine e gli effetti dinamici sui sistemi elettrici e sui problemi di compatibilità elettromagnetica.

Airbus sarà responsabile dell'integrazione complessiva, nonché dell'architettura di controllo del sistema di propulsione ibrido-elettrico e delle batterie, e della sua integrazione con i controlli di volo. Rolls-Royce sarà responsabile del motore turbo-albero, del generatore da 2 MW e dell'elettronica di potenza. Insieme a Airbus, Rolls-Royce lavorerà anche sull'adattamento del fan alla carlinga esistente e al motore elettrico Siemens.

Il dimostratore, chiamato "E-Fan X", è montato su un banco di prova di volo BAe 146 e si prevede che venga lanciato nel 2020 dopo una campagna completa di test di terra [13].

### *2.3.3 Sviluppo di pale di turbina innovative a struttura equiassica e monocristallina a più elevata stabilità e tecniche di analisi (es. vibrazionali)<sup>22</sup>*

Si prospetta che il traguardo cruciale in tema di innovazione dei motori si possa raggiungere anche attraverso lo sviluppo di pale di turbina innovative in termini di struttura cristallina. È opportuno allora chiarire preliminarmente che la configurazione ordinata assunta dagli atomi della lega metallica è determinante ai fini della resistenza allo scorrimento viscoso[177]. Pertanto, getti di fusione che solidificano con modalità diverse acquisiscono diverse strutture cristalline e, conseguentemente, esibiscono diverse proprietà meccaniche.

---

<sup>22</sup> Università degli Studi di Salerno.

In ambito aerospaziale si distinguono tre diverse strutture fondamentali, a crescente complessità di realizzazione e crescente resistenza alla deformazione per scorrimento viscoso: equiassica, direzionale, a singolo cristallo.

La struttura cristallina equiassica è composta da grani a dimensione paragonabile, ogni grano individua un cristallo che presenta un proprio ordinamento direzionale. Alle alte temperature e sotto carico, i diversi cristalli sono soggetti a scorrimento reciproco per il fenomeno che è anche noto come *creep*. La possibilità di una solidificazione direzionale, ovvero di un allineamento uniforme dei cristalli, limita parzialmente questo inconveniente; la solidificazione a grano singolo, in cui i bordi dei grani sono eliminati del tutto, rappresenta invece la soluzione ideale al problema e conferisce al componente una maggiore resistenza meccanica ai carichi a cui è soggetto per effetto dell'elevato regime di rotazione[178]. Inoltre, poiché le impurità tendono a concentrarsi sui bordi dei grani, la struttura a singolo cristallo conferisce alla pala di turbina anche maggiore resistenza alla corrosione ad alta temperatura.

Per questi motivi, a parità di condizioni operative, la vita relativa di una pala di turbina a struttura cristallina direzionale e di un componente a singolo cristallo è, rispettivamente, tre volte e nove volte maggiore rispetto a quella di un componente a struttura equiassica. Di conseguenza è possibile anche spingere al limite la temperatura di esercizio, e quindi massimizzare gli scambi termici: in particolare, nel caso del grano singolo rispetto alla struttura equiassica, la temperatura di esercizio può aumentare di circa 30 °C a parità di composizione chimica, di ulteriori 70 °C per effetto dell'aggiunta di renio fino a un tenore del 6%. Il metodo per la produzione di pale di turbina a singolo cristallo si basa sulla tecnica di Bridgman–Stockbarger e rappresenta un'evoluzione del metodo per la produzione di pale a solidificazione direzionale ed è stato messo a punto a partire dagli anni Sessanta.

Le turbomacchine allo stato attuale sono in grado di fornire potenze fino a centinaia di megawatt. Numerose ricerche ne hanno permesso l'evoluzione sotto diversi aspetti, in termini di processi di produzione, materiali ed efficienza aerodinamica dei componenti, ma è opportuno sottolineare che il settore ha beneficiato anche trasversalmente di risultati innovativi conseguiti in ambiti non strettamente connessi a quello delle turbomacchine. Un importante contributo allo sviluppo si è infatti determinato negli anni Ottanta grazie alla diffusione su larga scala di software per il calcolo agli elementi finiti[179]; successivamente, tecniche di sperimentazione più specifiche e affinate hanno permesso un monitoraggio più efficace della vita utile dei componenti, individuando le pecche dei metodi tradizionali di produzione e i possibili vantaggi ottenibili attraverso strutture cristalline appropriate. In questi ambiti, il progresso è stato osservato su scala mondiale. Tuttavia, se per le altre traiettorie

tecnologiche è stato possibile individuare una lunga serie di progetti di ricerca specifici, chiusi o in via di finanziamento, nel caso dello sviluppo delle pale di turbina in termini di strutture cristalline, invece, è possibile solo riferirsi a progetti che hanno affrontato questa tematica come secondaria in un quadro più generale e meno specifico, come per esempio progetti a cui si è già rimandato per traiettorie tecnologiche di ambiti affini. Quanto al settore industriale, la Campania si colloca in posizione eccellente rispetto alla tematica in oggetto, data la presenza di importanti aziende specializzate nella produzione di pale di turbina in tutte le strutture cristallografiche analizzate in questo rapporto, compresa quella a singolo cristallo.

Poiché si stima che la manutenzione dei componenti critici, incluse quindi le pale di turbina, incida sui costi di manutenzione e ripristino di un aeromobile in misura dell'8%, è importante segnalare che entro i confini di questa tematica una valida opportunità di investimento è offerta anche dalla fabbricazione additiva nella sua accezione di tecnologia di riparazione[180]: occorre infatti valutare l'opportuna strategia di intervento che consenta di ripristinare la forma e le tolleranze dimensionali dei componenti danneggiati dall'usura, preservandone al tempo stesso la struttura cristallina che, per quanto descritto precedentemente, è cruciale ai fini dell'efficienza.

#### *2.3.4 Sistemi di raffreddamento più efficienti anche mediante lo sviluppo di anime ceramiche innovative<sup>23</sup>*

Inerentemente ai possibili miglioramenti perseguibili sui motori aeronautici attraverso forme peculiari delle pale di turbina, appare evidente che occorre concentrare la sperimentazione non tanto sulla geometria esterna del componente, quanto sulla sua conformazione interna. Infatti, raffreddamento interno e alleggerimento opportuno delle pale di turbina attraverso canalizzazioni e cavità consentono da un lato di mantenere le temperature di esercizio entro i limiti ammessi dal materiale, dall'altro di minimizzare il carico applicato all'albero di rotazione; questo spiega un'ampia attività di ricerca che nell'ultimo decennio è stata condotta per ottimizzare le geometrie. Tali caratteristiche interne vanno realizzate con opportuni accorgimenti che consistono nell'impiego di anime innovative da utilizzare nel corso del processo di microfusione a cera persa, la cui potenzialità per la produzione di massa, a costi competitivi, di oggetti in forma complessa è ampiamente documentata in letteratura [181].

Lo sviluppo di anime innovative non può prescindere dalla ricerca sulla composizione dei materiali delle anime stesse. In questa direzione si stanno orien-

---

<sup>23</sup> Università degli Studi di Salerno.

tando diversi studi che hanno evidenziato, per esempio, l'effetto del contenuto di zirconio sul comportamento meccanico e chimico delle anime [182], oppure i miglioramenti possibili in termini di ritiro dimensionale e deformazione delle forme grazie alla combinazione di un silicato con un alcossido metallico [183].

I requisiti chiave di un guscio ceramico per microfusione in cera persa sono deducibili dalla letteratura di settore [184] e si possono trasferire alla produzione di anime. In particolare, è richiesto che i materiali impiegati per realizzare anime innovative abbiano una resistenza minima opportuna per consentire l'evacuazione della cera senza subire danno, sopportare i carichi meccanici e termici in colata con ridotta espansione termica per non alterare le dimensioni del prodotto finito, ma al tempo stesso ammettere minime contrazioni per evitare il fenomeno della formazione di cricche a caldo nel getto [185] e concedere lo smaltimento termico.

In alternativa a questi metodi, ancora una volta si intravede una possibile ulteriore applicazione della fabbricazione additiva: la stampa 3D sia attraverso tecnica di stereolitografia [186] sia attraverso deposizione diretta [187], ben si presta alla produzione di anime di forma innovativa.

È evidente che, data l'importanza strategica per lo sviluppo di sistemi più efficienti, la tematica del raffreddamento delle pale di turbina sia stata presa in considerazione anche nell'ambito di progetti di ricerca internazionali. Tuttavia, se per le altre traiettorie tecnologiche è stato possibile individuare una lunga serie di progetti di ricerca specifici, chiusi o in via di finanziamento, nel caso dello sviluppo di anime innovative, e come osservato del resto anche per l'ambito tecnologico inerente alla struttura cristallina delle pale di turbina, è possibile solo riferirsi a progetti che hanno affrontato la tematica come secondaria in un quadro più generale e meno specifico.

Ad ogni modo, alcune conoscenze acquisite nello sviluppo dei gusci ceramici, in tema di resistenza meccanica e termica, sono certamente trasferibili anche all'applicazione specifica sulle anime. In particolare, resta da validare in contesto industriale la fattibilità della produzione di pale di turbina attraverso microfusione in cera persa con l'impiego di anime in materiali specifici che soddisfino requisiti diversi di resistenza meccanica, termica e stabilità. Tuttavia, è anche opportuno segnalare che in fatto di ceramici molte applicazioni sono state limitate o sicuramente condizionate dall'entrata in vigore di nuove normative più stringenti in tema di impatto ambientale: l'*Environmental Protection Act* del 1992 già aveva significativamente determinato una serie di studi finalizzati al ricorso a gusci di colata di composizione alternativa. Pertanto, in previsione di ulteriori aggiornamenti delle normative, appare evidente che investimenti e impegni nella direzione del miglioramento dell'ef-

ficienza attraverso innovativi sistemi di raffreddamento, possono avere valenza strategica e politica determinante nel quadro europeo e mondiale.

## 2.4 Tecnologie per lo spazio

### 2.4.1 Micro-piattaforme satellitari multi-purpose, anche aviolanciabili, con capacità di rientro e riconfigurabili<sup>24</sup>

Gli ultimi venti anni hanno visto un enorme aumento nel numero di piccoli satelliti lanciati in orbita [188]. Nel dettaglio è stato stimato che il tasso di crescita medio annuo del numero di piccoli satelliti lanciati nello spazio è di circa il 40%. Le applicazioni di tali satelliti sono varie e comprendono il monitoraggio dei veicoli, le telecomunicazioni, il monitoraggio meteorologico, la sorveglianza marittima, l'analisi della crescita delle colture e l'osservazione dei cambiamenti climatici [189] [190] [191]. Tale versatilità può essere sfruttata al meglio attraverso lo sviluppo di costellazioni di satelliti di piccole dimensioni. Infatti, una rete di piccoli satelliti è in grado di offrire una maggiore copertura e una maggiore velocità di raccolta dei dati rispetto ai sistemi tradizionali su larga scala. I micro-satelliti possono inoltre ridurre drasticamente i costi di lancio e il tempo di sviluppo delle missioni, rendendo le tecnologie di telerilevamento ancora più convenienti.

Lo sviluppo e soprattutto la diffusione di tali micro-piattaforme ha generato nuove e più specifiche richieste, con particolare riferimento alla capacità di aviolancio [192]. Fino a qualche anno fa, infatti, molti micro-satelliti non avevano proprio la possibilità di essere lanciati in orbita in quanto non erano disponibili sistemi di lancio adeguati (e.g. PocketQubes e TubeSats) [192]. I piccoli satelliti già lanciati nei decenni precedenti al 2000 utilizzavano diverse tipologie di lanciatori per l'inserimento orbitale non permettendone quindi la diffusione. In altri casi, i micro-satelliti sono stati lanciati come payload secondari in un cosiddetto *cluster launch* senza avere la possibilità di selezionare la loro orbita.

L'esigenza di sviluppare micro-piattaforme satellitari aviolanciabili trae origine dalla necessità di consentire l'accesso allo spazio ad Enti Istituzionali ed a Privati con breve preavviso, a costi ridotti e, eventualmente, con capacità di recupero. Tale approccio svincola la piattaforma dalla disponibilità e dalle limitazioni di una base di lancio fissa e la rende molto più flessibile nella missione specifica in cui è utilizzata ed idonea ad un rapido impiego.

La disponibilità di un tale tipo di piattaforma, caratterizzata da modularità e riconfigurabilità, oltre a poter essere impiegata in un ampio spettro di

---

<sup>24</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II"

missioni, può consentire anche la realizzazione di missioni complesse tramite la messa in opera di costellazioni di micro-piattaforme satellitari [188].

Investire nella realizzazione di micro-satelliti aviolanciabili con capacità di rientro è sicuramente una prospettiva attraente, sia nel breve che nel medio-lungo periodo. Studi di settore hanno mostrato una forte crescita della domanda di questo tipo di piattaforme satellitari, anche grazie alla scelta di impiegare costellazioni di satelliti di piccola taglia in luogo di satelliti di maggiori dimensioni.

L'Italia in generale e la Regione Campania in particolare possiedono la necessaria rete di competenze ed infrastrutture per poter procedere alla realizzazione di piattaforme satellitari di questo tipo, e un adeguato posizionamento in questo mercato potrebbe avere importanti ricadute in tutte le aziende operanti nel settore tecnologico regionale.

Tra le opportunità legate alla tematica si segnalano: una forte crescita della domanda; la presenza di fondi pubblici nazionali per finanziare attività di R&S sulla tematica; possibili spillover positivi che impattano sullo sviluppo socioeconomico del territorio; possibilità di poter applicare la tecnologia considerata in settori e mercati diversi (e.g. ICT, sicurezza); la necessità di ridurre i costi per l'accesso allo spazio; la possibilità di rafforzare le collaborazioni con partner esteri (e.g. NASA, ESA etc).

Tra le minacce: una forte concorrenza internazionale (e.g. NASA, JAXA); esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale.

Punti di forza sono una presenza sul territorio delle conoscenze, competenze e risorse necessarie (e.g. CIRA; Federico II, PMI); una consolidata esperienza circa la tecnologia considerata grazie alla partecipazione in progetti internazionali, europei e nazionali;

Punti di debolezza sono un tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali e internazionali; piccole imprese di subfornitura con scarse conoscenze high-tech.

#### *2.4.2 Tecnologie abilitanti per l'avio Lancio sulla base di sistemi aerei nazionali esistenti, e per sistemi satellitari distribuiti basati su nano/ micropiattaforme (Costellazioni, Formation Flying e Swarming)<sup>25</sup>*

L'esigenza di sviluppare nuovi concetti e sistemi per rendere possibile il lancio a basso costo di micro e nanosatelliti nasce dalle notevoli spese connesse all'uso degli attuali lanciatori (10 M\$ per 100 lb in LEO), che consentono il posizionamento in orbita di questi carichi unicamente come carichi secondari di missione.

---

<sup>25</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

La necessità quindi di dover condividere il vettore di lancio con carichi a maggiore priorità si riflette generalmente in notevoli limitazioni in termini di posizionamento in orbita, con conseguente impatto sugli obiettivi di missione raggiungibili. Aspetto non secondario poi è quello della sicurezza del carico primario che spesso impedisce l'imbarco a bordo di altri carichi.

Una possibile soluzione alla problematica delineata è quella di mettere a punto un sistema di aviolancio, che utilizza un aeromobile convenzionale insieme ad un lanciatore di piccolissima taglia al fine di poter collocare in LEO satelliti o costellazioni di satelliti di ridottissime dimensioni (mini, nano e cubesat).



**Figura 5** – Aviolancio di una piattaforma spaziale di piccole dimensioni (Fonte NASA).

I vantaggi forniti dal sistema proposto rispetto agli attuali lanciatori sono evidenti. Innanzitutto, la possibilità di svincolarsi dal supporto di un sito di lancio convenzionale, con i relativi costi ed aspetti di sicurezza ed impatto ambientale. Le infrastrutture di terra necessarie sarebbero ridotte al minimo e, opportunamente realizzate, potrebbero essere rapidamente dispiegabili in qualsiasi sito rendendo possibile, potenzialmente, eseguire il lancio ovunque. Un tale sistema risulterebbe una soluzione molto flessibile per poter collocare in orbita piccoli carichi paganti con costi ridotti a circa un decimo di quelli attuali.

La Campania presenta buone competenze sia nel mondo della ricerca che industriale sviluppate anche grazie alla partecipazione a progetti Europei sulla specifica tematica e su tematiche affini (vedi caso Hyplane). In particolare, le imprese, le università e i centri di ricerca campani partecipano attivamente ai programmi spaziali e di astrofisica offrendo prodotti e servizi altamente specializzati, quali sistemi per l'esplorazione dello spazio e per il lancio e/o trasporto suborbitali ed orbitali, razzi sonda, satelliti osservazione della terra.

Lo sviluppo di tale tecnologia in Campania permetterà di rafforzare ulteriormente il comparto, oltre che differenziarci dalle altre regioni italiane che si sono nel tempo specializzate in campi differenti. Inoltre, la padronanza di queste tecnologie permette di prendere parte ad importanti tavoli strategici sia a livello nazionale che europeo.

Tra le opportunità legate a queste tematiche si segnalano gli investimenti da parte dell'US; possibili spillover positivi che impattano sullo sviluppo socioeconomico del territorio; la possibilità di rafforzare le collaborazioni con partner esteri (e.g. NASA, ESA etc).

L'esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale rappresenta una minaccia. Punti di forza sono la presenza sul territorio delle conoscenze, competenze e risorse necessarie; una consolidata esperienza circa la tecnologia considerata grazie alla partecipazione in progetti internazionali, europei e nazionali. Sono punti di debolezza: un tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali e internazionali; la presenza piccole imprese di subfornitura con scarse conoscenze high-tech.

#### *2.4.3 Studio di configurazioni di spaziplani di classe business per voli super/ipersonici suborbitali e/o stratosferici<sup>26</sup>*

L'idea di trasporto supersonico risale agli anni '50. Lo scorso secolo ha visto la realizzazione e la messa in esercizio di due velivoli supersonici per il trasporto civile oggi non più operativi: il Concorde e il Tupolev Tu-144. Negli anni ci si è resi infatti conto che la riduzione delle ore di volo sulle rotte transatlantiche non giustificava i più elevati consumi, i costi operativi, e l'elevato rischio legato al loro utilizzo (entrambi i velivoli sono stati coinvolti in disastri aerei).

Negli ultimi anni i progressi scientifici e tecnologici hanno tuttavia stimolato una nuova riflessione sulla possibilità di un trasporto civile supersonico o ipersonico. I futuri business jet presentano sempre motori caudali, le fusoliere hanno forme molto allungate, nose aguzzo, obbedendo alla regola delle aree per la riduzione della resistenza d'onda e del boom sonico [193].

Per rendere le strutture in grado di resistere ai forti carichi a cui sono sottoposti, si pensa a materiali quali il kevlar e la fibra di carbonio. Per quanto riguarda l'ala sono studiate diverse configurazioni: ala a forte freccia e rapporto di rastremazione; ala a geometria variabile [194]; supersonic laminar flow wing [195] [196].

---

<sup>26</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

Tali velivoli sarebbero destinati alla nicchia di mercato che comprende i velivoli di classe business.

Il principale problema del volo supersonico è legato al rumore provocato dal boom sonico. È necessario ridurre il rumore di un fattore di circa 60 decibel inferiore a quello prodotto attualmente dagli aerei supersonici militari. Il programma della NASA Low-Boom Flight Demonstrator [197], ha lo scopo di studiare configurazioni tali da rendere accettabile il livello dell'inquinamento acustico prodotto da tali velivoli.

Sono inquadrati in quest'ambito il Lockheed Martin X-59 QueSST (Quiet Supersonic Transport) [198], l'Aerion SBJ (Supersonic Business Jet) [199] e il suo successore AS2 [200] sviluppato in collaborazione con Boeing. La Spike Aerospace sta attualmente sviluppando un velivolo in grado di ospitare 18 persone. Il velivolo HyperMach Hypersonic Hybrid Business Jet (HHYBJ) [201] sarà in grado di raggiungere un Mach di crociera superiore a 4.

Uno spaziplano è un velivolo progettato per volare oltre la linea di Kármán che, convenzionalmente, individua il confine tra l'atmosfera terrestre e lo spazio alla quota di 100 km sul livello medio del mare. Uno spaziplano combina alcune caratteristiche degli aeroplani con altre delle navi spaziali. L'ESA, nell'ultimo decennio, ha finanziato i progetti LAPCAT e LAPCAT II [202] [203] per lo studio di configurazioni di velivoli destinati al trasporto civile che possano raggiungere Mach 5.

Lo studio di spaziplani senza equipaggio costituisce un punto di partenza per studiare configurazioni innovative per il trasporto di passeggeri al di fuori dell'atmosfera. Lo Skylon [204] è uno spaziplano sviluppato dall'azienda britannica Reaction Engines. Questa navetta sarà in grado di raggiungere l'orbita terrestre con un solo stadio (SSTO, *Single Stage To Orbit*), decollando e atterrando come un aeroplano convenzionale. Lo Skylon è dotato di una fusoliera destinata a contenere serbatoi di idrogeno e ossigeno liquido e una zona centrale per il carico. Motori a razzo ibridi SABRE (*Synergistic Air-Breathing Rocket Engine*) sono installati, nelle loro caratteristiche gondole asimmetriche, alle estremità dell'ala a delta (Figura 6).

Il ciclo ibrido dei motori SABRE unisce la capacità di usare l'ossigeno atmosferico per la fase di volo a bassa quota e l'ossigeno liquido, stivato a bordo, per la fase di volo fuori dall'atmosfera, consentendo una riduzione del consumo di propellente. Fino ad una quota di circa 26 km e a una velocità corrispondente a Mach 5.5, il motore brucia l'ossigeno contenuto nell'aria per poi passare ad utilizzare quello liquido stivato nei serbatoi. Grazie ad un inedito radiatore in grado di abbattere in poche frazioni di secondo la temperatura dell'aria in ingresso al compressore, questo è in grado di funzionare anche a velocità di volo ipersoniche.

A causa della bassa densità dell'idrogeno liquido, i serbatoi avranno, comunque, dimensioni notevoli per contenerne la quantità necessaria al volo. Il profilo di missione è anche caratterizzato da modeste accelerazioni inerziali (pari o inferiori a 2 g). Queste due condizioni portano a dover fare particolare attenzione al progetto della fusoliera che sarà una struttura reticolare in fibra di carbonio, con elementi trasversali, analoghi alle ordinate, collegati tra loro diagonalmente da barre che contrastano gli sforzi torsionali e l'instabilità a carico di punta. La struttura reticolare è protetta da uno strato di poliammide termoplastica a sua volta ricoperto da un guscio composto di elementi ceramici corrugati resistenti alle temperature di rientro dall'orbita. I longheroni trasferiscono i carichi dei serbatoi al resto della fusoliera, facendosi carico delle sollecitazioni a flessione della stessa.

Hyplane [205] è un velivolo ideato dall'azienda Trans-Tech in collaborazione con l'Università degli studi di Napoli Federico II. Esso può ospitare fino a 8 persone a bordo, dovrà essere in grado di arrivare a Mach pari a 4.5, di decollare e atterrare su una pista di media lunghezza come un normale velivolo commerciale, e di eseguire un volo parabolico per oltrepassare la linea di Kàrmàn. Avrà un'ala a delta variabile per garantire stabilità e manovrabilità nell'elevato range di velocità, una fusoliera ad "ago", e sarà equipaggiato con o con motori ramjet supportati da un razzo a stato liquido, oppure da motori supercharged ejector ramjet.

Dotato di una tecnologia differente dalle precedenti, lo Space-Liner [39] sarà uno spaziotrattore suborbitale basato sulla propulsione a due stadi. Il progetto è iniziato nel 2005 ed è coordinato dal DLR. Il requisito fondamentale su cui si fonda il progetto deve essere il basso costo di sviluppo e il basso costo di lancio, in modo da rendere l'idea dei viaggi nello spazio una reale attrattiva per il pubblico. Per tal motivo questo velivolo utilizza un sistema propulsivo consolidato, basato sui motori a razzo a propellente liquido. Il primo stadio, denominato booster, è costituito essenzialmente dai serbatoi di ossigeno e idrogeno mantenuti a temperature criogeniche, e da otto motori a razzo. Il suo profilo di missione prevede, una volta esaurito il propellente, il distacco dall'orbiter ed il rientro presso il sito di lancio in volo planato. Il secondo stadio ospita, oltre ai serbatoi di propellente ed ai motori a razzo, anche la cabina passeggeri. In caso di emergenza la cabina passeggeri può staccarsi dall'orbiter e rientrare autonomamente sulla Terra. L'intero sistema è progettato in modo da non sottoporre i passeggeri ad accelerazioni verticali superiori a 2,5 g. Per ottimizzare i costi di sviluppo e costruzione, i motori dell'orbiter e del booster condividono gran parte dei componenti, differenziandosi tra loro per la sola geometria dell'ugello di scarico. I due motori dell'orbiter, infatti, essendo ottimizzati per fornire la massima spinta nel vuoto avranno un rapporto di espansione maggiore di quelli del booster che a loro volta risulteranno fisicamente più corti [206].

Lo *Scaled Composites Model 339 SpaceShipTwo* [207] è uno spaziplano sub-orbitale sperimentale dotato di un motore a razzo ibrido, sviluppato dall'azienda statunitense The Spaceship Company nell'ambito del proprio programma Tier One. Destinato ad essere usato come vettore per il turismo spaziale, con la capacità massima di 8 persone, il velivolo sfrutta molta della tecnologia testata nell'ambito dello sviluppo della *SpaceShipOne* [208]. La navetta *SpaceShipTwo* sarà trasportata fino alla parte alta dell'atmosfera dal velivolo madre (*Scaled Composites White Knight Two*), da cui si stacca per essere portata dal suo motore a razzo nello spazio fino alla quota di 110 km e da cui rientrerà planando per prepararsi ad un atterraggio convenzionale.

Grazie alla bassa velocità di rientro, la *SpaceShipTwo* può rientrare in atmosfera con un angolo qualsiasi, a differenza delle navette spaziali che rientrano dall'orbita a velocità prossime a 25 000 km/h e quindi necessitano un rigoroso angolo di rientro, e di affidabili scudi termici per dissipare il calore. Per aumentare la resistenza e la stabilità della navetta nella fase iniziale della ricaduta in atmosfera, le estremità posteriori dell'ala vengono ruotate verso l'alto di circa 65°. Ad un'altitudine di circa 24 km, le ali sono riportate nella configurazione iniziale consentendo il rientro in volo planato verso lo spazioporto.



**Figura 6** – Lockheed Martin X-59 QueSST, Aerion AS2, Velivolo Skylon; Velivolo SpaceShipTwo.

Esiste dunque un forte interesse sia della comunità scientifica che del mondo industriale allo sviluppo di velivoli supersonici e ipersonici destinati

al trasporto civile. L'adozione di nuovi strumenti di progettazione (CFD, analisi FEM) che permettono di valutare, già in fase concettuale, i pro e i contro di una particolare configurazione è fondamentale per questo tipo di tematica. Sebbene, le tecnologie usate nelle missioni spaziali possono, in alcuni casi, essere adattate anche a questo tipo di velivoli, risulta evidente che bisogna focalizzare la ricerca non solo nel settore aeronautico ma anche in quelli affini quali materiali, elettronica, e automazione.

Ad oggi il trasporto supersonico (e ipersonico), risulta ancora svantaggioso da un punto di vista economico, a causa della minore efficienza dei velivoli SS&IST che determina consumi molto più elevati rispetto al subsonico-transonico. Tra le opportunità per il suo sviluppo si segnalano la dismissione del Concorde; i promettenti ricerche per attenuare gli effetti del boom sonico; e l'esistenza di progetti già ben avviati a livello mondiale.

Tra le minacce va annoverata la necessità e l'interesse della comunità internazionale per ridurre le emissioni inquinanti e dei livelli di rumore.

I punti di forza sono la conoscenza della tematica da parte di università e centri di ricerca; e la possibilità di collaborare con partner internazionali.

Sono punti di debolezza il basso TRL basso per suscitare l'interesse delle aziende campane; il contesto industriale campano caratterizzato da PMI che potrebbero operare in questo settore ma carenza di legami con grossi player in quest'ambito; la limitata partecipazione degli attori campani nei progetti internazionali su questo tema; gli elevati costi di sviluppo di queste tecnologie.

#### *2.4.4 Strutture hot integrate e multifunzionali, incluso raffreddamento semi-passivo<sup>27</sup>*

La dissipazione di energia cinetica durante la fase di rientro atmosferico, o durante il volo ipersonico, genera un elevato riscaldamento aero-termodinamico di tutte le superfici esterne dei veicoli/velivoli. Il flusso termico cui sono soggetti i veicoli spaziali durante le fasi di rientro da LEO può arrivare valori estremamente elevati, dell'ordine di kW/m<sup>2</sup> durante le fasi di rientro di missioni interplanetarie.

Al fine di contenere i livelli di temperatura entro i limiti consentiti dagli equipaggiamenti, dalle strutture, dal carico pagante e, eventualmente dall'equipaggio, è necessario dotare i veicoli spaziali ed i velivoli ipersonici di adeguati sistemi di protezione termica (TPS).

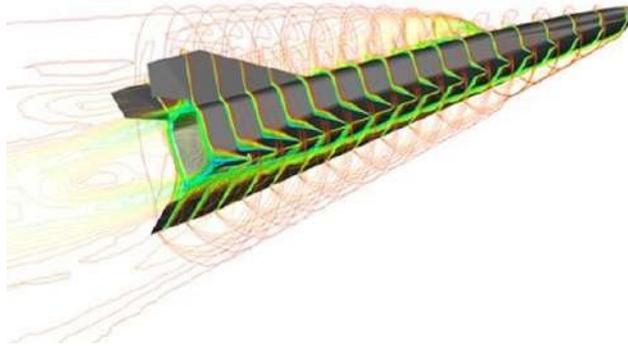
---

<sup>27</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Investire risorse nello sviluppo di hot structure integrate multifunzionali e TPS semi-passivi è una prospettiva sicuramente interessante.

La disponibilità sul Territorio di una infrastruttura di ricerca come il CIRA, dotata di una galleria al plasma ed espressamente progettata per testare i TPS, insieme ad Università con consolidata esperienza nelle tematiche legate al volo ipersonico rappresentano ulteriori asset che potrebbero essere messi a fattor comune per realizzare una filiera produttiva volta a realizzare prodotti innovativi in questo settore.

Tra le opportunità legate a questa tematica si segnalano gli investimenti da parte dell'UE; i possibili spillover positivi che impattano sullo sviluppo socioeconomico del territorio; la possibilità di rafforzare le collaborazioni con partner esteri (e.g. NASA, ESA etc). Sono minacce i numerosi progetti avviati a livello mondiale. Punti di forza sono la presenza sul territorio delle conoscenze, competenze e risorse necessarie; una consolidata esperienza circa la tecnologia considerata grazie alla partecipazione in progetti internazionali, europei e nazionali. Sono punti di debolezza il tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali e internazionali; la presenza di piccole imprese di subfornitura con scarse conoscenze high-tech.



**Figura 7** – Simulazione numerica del campo di moto intorno ad un velivolo ipersonico (Fonte CIRA).

#### **2.4.5 Piattaforma Stratosferica Lighter Than Air<sup>28</sup>**

Le piattaforme stratosferiche (SPF- *Stratospheric PlatForm*) anche chiamate HAP (*High Altitude Platform*) o HALE (*High Altitude Long Endurance platform*) possono operare a una quota compresa tra i 12 e 40 km, mantenendo una posizione assegnata rispetto ad un punto della superficie terrestre. Nella pratica, la loro quota operativa nominale si aggira tra i 12 e i 20 km, poiché a tali altezze e a particolari latitudini

---

<sup>28</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

terrestri, la velocità del vento è minima, per cui il mantenimento di una posizione stazionaria è facilmente gestibile da sistemi a bassa potenza.

Gli HAP sopperiscono a quelle necessità che non possono essere soddisfatte dai normali velivoli o dai sistemi satellitari. I principali vantaggi legati a questa tecnologia sono legati alla capacità di trasportare un carico utile a basso costo di trasporto, alla capacità di volo a lungo raggio non stop (*long range*), al basso consumo energetico unito a un'elevata autonomia operativa (*long endurance*), e alla possibilità di essere utilizzate anche in assenza di pista di decollo e atterraggio. Le piattaforme stratosferiche possono essere utilizzate per molteplici scopi civili e militari [209]–[213], ad esempio come sistemi di telecomunicazione, come strumenti di supporto alla navigazione (interagendo con i sistemi satellitari o ospitando un dispositivo *GPS-like*), come sistemi di accesso e osservazione dello spazio (ad esempio possono essere usati come basi di lancio di satelliti), e, infine, come strumenti per l'osservazione e il monitoraggio della Terra.

Solitamente, un HAP può essere un sistema manned o unmanned realizzato con un aeroplano, un dirigibile o una mongolfiera. In genere quando si parla di piattaforme stratosferiche *lighter than air* (LTA) ci si riferisce ai dirigibili o alle mongolfiere. Per un loro possibile utilizzo a quote stratosferiche, sono stati finanziati diversi progetti di ricerca internazionali che coprono diversi aspetti della loro ingegnerizzazione: materiali, controlli automatici, sistemi di comunicazione, strutture, etc.

I primi progetti risalgono agli anni '90, in corrispondenza della nascita delle tecnologie di comunicazione wireless [214], [215]. Successivi programmi di sviluppo come HeliNet [216], CAPANINA [217], HAPCOS [218] e Osiris in Europa [219], HALO e ISIS [220] negli Stati Uniti [221] o SkyNet in Giappone [222], hanno contribuito a studiare le potenzialità di tale tecnologia. Tra i progetti europei più recenti vanno annoverati StatoBus, PSICHE e MAAT. Il progetto StratoBus [223] prevede lo sviluppo di un dirigibile con endurance di circa un anno, limitata da soste di manutenzione, che includono il rifornimento di elio. Il design StratoBus incorpora alcune soluzioni innovative come l'uso di un rivestimento trasparente che consente alla luce solare di filtrare all'interno e di venire riflessa su specchi che la concentrano sui pannelli solari posti nel dirigibile. Ciò consente una riduzione delle dimensioni e del peso dei pannelli solari e li protegge dal degrado causato dall'ambiente stratosferico.

L'Italia è fortemente coinvolta nel progetto PSICHE (*Photovoltaic Stratospheric Isle for Conversion in Hydrogen as Energy vector*) [224], nel progetto MAAT (*Multibody Advanced Airship for transport*) [225] e nel progetto MASTER (*Multipurpose Airship in Stratosphere for Telecommunications, Environmental-monitoring and Reconnaissance*) [226]. In tutti e 3 i progetti si propone un sistema bina-

rio, composto da HAP/cruiser, posizionato a quota stratosferica mentre l'altra parte, e da una navetta (*feeder*), in grado di muoversi e trasportare merci e/o persone. Il progetto MASTER (*Multipurpose Airship in Stratosphere for Telecommunications, Environmental-monitoring and Reconnaissance*) ha l'obiettivo di creare un HAP che sia il centro di una nuova rete integrata di telecomunicazioni di tipo "all in one" in grado di gestire le reti dati, la telefonia cellulare, i sistemi GPS, il monitoraggio del territorio e dei suoi confini sia ottico che radar, nonché le normali trasmissioni. L'enorme capacità di visione dall'alto e la bassa latenza dei segnali rispetto a sistemi satellitari rende MASTER l'ideale sistema per il monitoraggio del territorio e dello spazio aereo e navale, garantendo un controllo costante ed efficace.

Negli ultimi anni, l'asestamento delle tecnologie abilitanti, come lo sviluppo di sistemi energetici di bordo ibridi, di materiali per il rivestimento più performanti che riducano la perdita di gas, di elettronica resistente alle radiazioni, e di sistemi di gestione e stoccaggio sicuro di gas (idrogeno, ossigeno), hanno permesso di riprendere la ricerca sulle piattaforme LTA e di pensare a nuove applicazioni come per esempio quelle previste dal progetto MAAT.

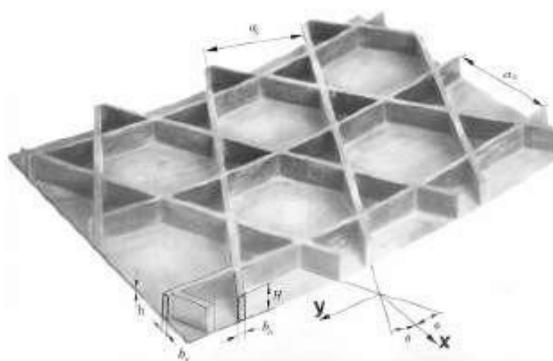
Le università campane e il CIRA hanno sufficienti conoscenze relative a questa traiettoria tecnologica e sono state coinvolte in alcuni programmi di ricerca (MAAT, PSICHE, MASTER, Capanina, etc.). Contrariamente, l'industria campana potrebbe non è ancora matura ad affrontare la tematica, che comunque ad oggi presenta ancora un basso TRL. Tra le opportunità per la tematica si segnala la molteplicità.



**Figura 8** – HALE, ISIS, StratoBus e sistema cruiser-feeder proposto nel progetto MAAT.

#### 2.4.6 Strutture innovative, e.g. deployable, anisogrid<sup>29</sup>

I requisiti imposti alle strutture spaziali di nuova generazione dai futuri lanciatori e dalle future missioni si traducono nella necessità di sviluppare soluzioni innovative, che consentano una sostanziale riduzione del peso a parità di resistenza e durata, e l'implementazione di capacità smart e multifunzionali. Tali requisiti si intendono applicabili sia alle strutture con funzione primaria, in cui una eventuale failure pregiudica inevitabilmente il successo della missione, sia alle strutture di tipo secondario dove eventuali cedimenti non hanno un impatto catastrofico sul veicolo.



**Figura 9** – Esempio di struttura Anisogrid (Fonte DLR).



**Figura 10** – Esempio di struttura deployable, estensione di un montante di supporto (Fonte Università di Bristol).

<sup>29</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

La riduzione della massa di una struttura è estremamente importante in una missione spaziale in quanto la massa del carico utile impone le dimensioni del lanciatore. Grazie all'utilizzo dei materiali compositi nuove tipologie di geometrie possono essere realizzate al fine di soddisfare i sempre più stringenti requisiti di missione. Tra le tecnologie più promettenti in questo ambito vi sono le strutture Anisogrid.

La necessità di sviluppare strutture deployable (Figura 9), ovvero dispiegabili, nasce invece dalla necessità di poter alloggiare il carico pagante all'interno dei fairings dei lanciatori attualmente disponibili, spazio questo che spesso deve essere condiviso tra più carichi soprattutto nel caso di lancio contemporaneo di più satelliti di piccola taglia. Destinatari di questo tipo di innovazione tecnica sono in primis tutti quei componenti, come antenne e pannelli solari, che presentano una notevole superficie e che vengono dispiegati e posizionati nell'assetto di funzionamento solo a valle dell'inserimento in orbita.

Investire risorse nello sviluppo di strutture spaziali avanzate è una scelta sicuramente opportuna per due motivi fondamentali. Innanzitutto, la presenza sul territorio regionale di importanti realtà con consolidata esperienza nel campo dei materiali e delle strutture avanzate come Leonardo, IMaST, CIRA, e la possibilità di sfruttare le ricadute tecnologiche degli sviluppi in tale ambito in settori affini. Da sempre gli avanzamenti tecnologici in ambito strutturale ottenuti in campo aerospaziale hanno trovato rapida applicazione in altri campi, in primis in quello dei trasporti terrestri

Sono opportunità in quest'ambito gli investimenti da parte della Comunità Europea; la presenza di fondi pubblici nazionali per finanziare attività di R&S sulla tematica; possibili spillover positivi che impattano sullo sviluppo socio-economico del territorio; la possibilità di poter applicare la tecnologia considerata in settori e mercati diversi (e.g. trasporti); la necessità di ridurre ulteriormente i costi per l'accesso allo spazio; la possibilità di rafforzare le collaborazioni con partner esteri (e.g. NASA, ESA etc). Sono minacce una forte concorrenza internazionale (e.g. NASA, JAXA); l'utilizzo di materiali alternativi più performanti; l'esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale.

Sono punti di forza: la presenza sul territorio delle conoscenze, competenze e risorse necessarie (e.g. CIRA; IMaST, Federico II, Leonardo); una consolidata esperienza circa la tecnologia considerata grazie alla partecipazione in progetti internazionali, europei e nazionali; collaborazioni in essere con la NASA. Sono invece punti di debolezza: un tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali e internazionali; la presenza di piccole imprese di subfornitura con scarse conoscenze high-tech; la scarsa autonomia di prodotto.

#### *2.4.7 Miniaturizzazione di payloads per piccoli satelliti<sup>30</sup>*

La diffusione dell'impiego dei piccoli satelliti per una vasta gamma di missioni ed applicazioni si riflette in requisiti tecnici sempre più complessi per garantire da un lato lo svolgimento delle missioni assegnate, e dall'altro la difesa della posizione sul mercato da parte delle aziende costruttrici.

La miniaturizzazione degli strumenti scientifici, per osservazione della Terra, monitoraggio ambientale, per osservazioni astrofisiche è un ambito che sta ricevendo una cospicua attenzione. Molte di queste apparecchiature non rispettano i requisiti di ingombro necessari all'imbarco su piccoli satelliti, ed uno sforzo verso la loro diretta miniaturizzazione è necessario al fine di poter consentire lo svolgimento di questo tipo di missioni, fino al recente passato appannaggio esclusivo dei satelliti di taglia maggiore.

Investire risorse nello sviluppo di tecnologie per la miniaturizzazione di piattaforme spaziali di piccole dimensioni è sicuramente una prospettiva molto attraente dato il rilevante interesse mostrato verso questo settore sia da Enti di Ricerca Istituzionali che da aziende private. La forte espansione di questo segmento di mercato, testimoniata dal proliferare di missioni negli ultimi anni e le interessanti prospettive future di mercato, forniscono solida garanzia di una possibilità ritorno dell'investimento fatto in tale ambito.

Un punto di forza è costituito inoltre dall'ampia possibilità di ottenere ricadute tecnologiche in campi affini, in primis quello dell'IT e delle comunicazioni.

Per questo motivo è di capitale importanza creare sinergie tra le realtà industriali, Centri di Ricerca ed Università presenti sul Territorio Regionale al fine di capitalizzare al massimo le competenze ed esperienze già presenti che devono essere necessariamente la base su cui avviare una qualsiasi attività in questo settore, che per la sua intrinseca dinamicità richiederà inevitabilmente continua innovazione.

Sono opportunità in quest'ambito: investimenti da parte della Comunità Europea e del Governo italiano; possibilità di poter utilizzare la tecnologia considerata in settori e mercati diversi (e.g. aeronautica, ICT); necessità di ridurre ulteriormente i costi per l'accesso allo spazio; possibilità di rafforzare le collaborazioni con partner esteri (e.g. NASA, ESA etc).

Rappresentano minacce: una ridotta barriera all'ingresso in questo settore; una forte concorrenza internazionale (e.g. NASA, JAXA); l'esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale.

Sono punti di forza: la presenza sul territorio delle conoscenze, competenze necessarie (e.g. CIRA); una consolidata esperienza circa la tecnologia

---

<sup>30</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

considerata grazie alla partecipazione in progetti internazionali, europei e nazionali (e.g. CIRA); collaborazioni in essere con la NASA; la prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università. Sono punti di debolezza: un tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali.

#### *2.4.8 Sistemi integrati di propulsione (ibrida, elettrospray ionico) per micro-nanosatelliti<sup>31</sup>*

La disponibilità di appropriati propulsori è uno degli aspetti tecnici più importanti nella realizzazione degli attuali micro e nano-satelliti. È presumibile che i requisiti di prestazione di tali sistemi diventeranno nei prossimi anni sempre più stringenti, tenendo conto della maggiore propensione ad adottare costellazioni di micro e nano-satelliti con architettura a sensori distribuita nelle missioni oggi generalmente svolte da singoli satelliti di maggiori dimensioni. La necessità di dover gestire il volo in formazione dei satelliti della costellazione si tradurrà inevitabilmente in requisiti di prestazione sempre più elevati per i propulsori, sia per quanto riguarda il controllo d'assetto che per quanto riguarda le manovre orbitali.

La Campania presenta buone competenze sia nel mondo della ricerca che industriale sviluppate anche grazie alla partecipazione a progetti Europei sulla specifica tematica e su tematiche affini (HIPER, ORPHEE, GRAIL, etc).



**Figura 11** – Micropropulsore chimico monopropellente ad idrazina (Fonte Aerojet Rocketdyne Co.).

La ricerca in ambito aerospaziale risulta essere diversificata grazie alla presenza sul territorio di dipartimenti afferenti a diverse università campane, ossia l'Università degli Studi di Napoli Federico II, l'Università degli studi della Campania Luigi Vanvitelli, l'Università degli studi di Napoli Parthenope, l'Università

---

<sup>31</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

del Sannio e l'Università di Salerno. A tali dipartimenti, si aggiungono centri di ricerca, distretti e consorzi pubblico-privati, quali CIRA, CNR, DAC, CHAIN, che partecipano a numerosi progetti di ricerca e sviluppo a livello nazionale e internazionale. Il comparto produttivo campano appare ben sviluppato e diversificato, infatti consta di oltre 30 imprese e circa 10.000 dipendenti.

La concentrazione e prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università rappresenta un fondamentale punto di forza della Regione Campania che va sfruttato al meglio.

#### *2.4.9 Sistemi di simulazione e sperimentazione ambiente marziano (e.g. serre per l'agroalimentare, robot)<sup>32</sup>*

I Sistemi di Supporto Vitale (Life Support System) sono un gruppo di dispositivi che permettono agli esseri umani di sopravvivere nello spazio o sulla superficie di altri corpi celesti.

Il sistema deve fornire aria, acqua e cibo, inoltre deve anche assicurare una corretta pressione e temperatura per il corpo, ed occuparsi della gestione dei rifiuti prodotti. Infine, devono essere integrati adeguati di protezione contro influssi esterni nocivi come le radiazioni e le micrometeoriti.

In media, un membro dell'equipaggio di una missione spaziale necessita di circa 5 kg al giorno tra acqua, cibo e ossigeno per le normali attività a bordo, e rilascia una quantità simile sotto forma di rifiuti solidi, liquidi, e anidride carbonica. Le quantità sono suddivise in questo modo: 0.84 kg di ossigeno, 0.62 kg di cibo e 3.52 kg di acqua consumati, convertiti dal corpo in 0.11 kg di rifiuti solidi, 3.87 kg di rifiuti liquidi e 1.00 kg di anidride carbonica prodotta. Queste quantità possono variare a seconda del livello di attività fisica.

L'acqua consumata realmente durante una missione spaziale è circa il doppio del quantitativo indicato, principalmente per utilizzi non biologici (ad esempio, per l'igiene personale). Inoltre, i rifiuti prodotti variano a seconda della durata della missione, e includono capelli, unghie, desquamazione della pelle e altri rifiuti biologici che si accumulano in missioni di durata superiore alla settimana. Vanno inoltre considerate le reazioni del corpo alle caratteristiche dell'ambiente spaziale, come radiazioni, assenza di gravità, rumore, vibrazioni e luce, anche se questi parametri sono meno influenti.

Il sistema di supporto vitale mantiene un'atmosfera composta almeno da ossigeno, vapore acqueo e anidride carbonica. La somma delle pressioni parziali di ogni gas dà la pressione barometrica totale. Riducendo o omettendo i

---

<sup>32</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

diluenti (altri costituenti oltre all'ossigeno, quali azoto e argon) la pressione totale può essere ridotta fino a un minimo di 21 kPa, la pressione parziale dell'ossigeno al livello del mare nell'atmosfera terrestre.

Le problematiche descritte diventano particolarmente complesse nel caso di missioni spaziali di lunga durata, svolte a lunga distanza dalla Terra, come quella programmata verso Marte. In tal caso considerato che il tempo di una missione umana sul Pianeta Rosso si aggirerebbe da uno a tre anni e che sarebbe impossibile trasferire da Terra cibo, acqua e ossigeno sufficienti all'equipaggio per l'intero periodo, risulta indispensabile sviluppare un sistema in grado di sostenere la vita umana attraverso una continua rigenerazione delle risorse primarie.

Per raggiungere tale obiettivo, tutte le agenzie spaziali, in collaborazione con le comunità scientifiche e industriali internazionali stanno lavorando alla realizzazione di ecosistemi semplificati, chiusi ed autosufficienti, comunemente detti sistemi biorigenerativi o BLSS (Biorigenerative Life Support Systems).

La presenza sul Territorio Regionale di una struttura di eccellenza già inserita nell'ambito del maggiore progetto a livello europeo dedicato a questo settore è un elemento sicuramente a favore di un sostegno a tale attività da parte della Regione Campania.

Evidenti sono le ricadute nel settore agroalimentare delle ricerche eseguite dal consorzio MELiSSA, che potrebbero portare significativi miglioramenti della competitività e della qualità dei prodotti della filiera agro-alimentare regionale, da sempre elemento di punta del tessuto economico locale.

Di seguito è riportata una sintesi, sotto forma tabellare, dell'analisi SWAT eseguita sulla traiettoria tecnologica in questione.

Sono opportunità gli investimenti da parte della UE; possibili spillover positivi che impattano sullo sviluppo socioeconomico del territorio; possibilità di rafforzare le collaborazioni con partner esteri (e.g. NASA, ESA etc).



**Figura 12** – Laboratorio per la caratterizzazione delle specie vegetali (Fonte Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II).

Sono minacce l'esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale; la forte concorrenza in Europa. Sono punti di forza la presenza sul territorio delle conoscenze, competenze e risorse necessarie (Dipartimento di Agraria, Università di Napoli Federico II); la consolidata esperienza circa la tecnologia considerata grazie alla partecipazione in progetti europei; i possibili miglioramenti della filiera agro-alimentare regionale. Sono punti di debolezza il tessuto produttivo costituito principalmente da PMI con scarse conoscenze della tecnologia considerata.

#### *2.4.10 Sistemi di sensori integrati per il servizio in orbita e/o volo in formazione e/o rimozione attiva del debris. Sensori multi-funzione<sup>33</sup>*

I detriti spaziali sono costituiti da tutti i manufatti umani orbitanti intorno alla Terra, come ad esempio: stadi di razzi, frammenti di satelliti, satelliti dismessi, materiale espulso dai razzi (Figura 11). Tutti questi oggetti costituiscono una grave minaccia per le missioni spaziali sia per la possibilità di impatto con le strutture sia per le attività extra-veicolari. Soprattutto gli oggetti di minori dimensioni, eventualmente a loro volta prodotti come risultato di collisioni in orbita, risultano essere di difficile individuazione e di difficile tracciatura al fine di stabilirne i parametri orbitali, così da mettere in atto contromisure opportune.

I detriti spaziali rappresentano una minaccia di rilevante entità per le future missioni spaziali in orbita terrestre, che non può essere ignorata, richiedendo necessariamente l'implementazione di azioni volte a ridurre i rischi dell'utilizzo di orbite particolarmente "affollate" di detriti (come le orbite LEO e GEO). Per questo motivo investire in tale settore è una scelta sicuramente vincente.

Le prospettive legate alla realizzazione di piattaforme spaziali dedicate al servicing in orbita sono anch'esse decisamente positive. Attualmente vi sono oltre 150 satelliti GEO in gran parte di tipo commerciale che potrebbero rappresentare utile e redditiva una estensione della loro vita utile e che potrebbero divenire clienti potenziali di un tale tipo di piattaforma.

In Campania esistono Centri di Ricerca, realtà industriali specializzate nella progettazione e realizzazione di componenti on-board ed on-ground per il settore spaziale, ed Università con consolidate esperienze in tutti i settori necessari a mettere a punto un sistema complesso come quello sopra delineato: strutture spaziali, robotica, automazione, guida navigazione e controllo.

Sono opportunità il fatto che la questione dei detriti è un problema da affrontare in tempi rapidi per garantire la prosecuzione sicura dell'esplorazione spaziale; gli investimenti da parte della Comunità Europea e del Governo

---

<sup>33</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

italiano; la possibilità di rafforzare le collaborazioni con partner esteri; la necessità dell'Europa di garantirsi autonomia nello sviluppo di tali tecnologie. Sono minacce una forte concorrenza internazionale (e.g. NASA, JAXA); l'esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale.

Sono punti di forza la possibilità di specializzarsi su una tecnologia specifica (e.g. sensore di prossimità o modulo per rientro atmosferico) che può essere sviluppato da un'azienda di piccole dimensioni con investimenti relativamente limitati; la presenza sul territorio di attori con consolidate esperienze in tutti i settori necessari a mettere a punto la tecnologia considerata; la presenza sul territorio di aziende con know-how adeguato a realizzazioni hardware/software per utilizzo on-board e on-ground; la prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università.

Sono punti di debolezza: un tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali e internazionali.



**Figura 13** – *Detriti spaziali (Fonte ESA).*

#### ***2.4.11 Sistemi integrati per lo Space Situational Awareness, anche basati sul riutilizzo di soluzioni disponibili per usi duali<sup>34</sup>***

La Space Situational Awareness è un servizio che consente il controllo e la gestione dello spazio vicino alla Terra, al fine di renderne possibile l'utilizzazione attraverso accurate e tempestive informazioni riguardanti l'ambiente spaziale ed i rischi che possono coinvolgere sia mezzi orbitali che infrastrutture di terra. Essa è articolata in tre diversi settori:

- Space Surveillance and Tracking (SST): per il tracciamento di satelliti obsoleti e più in generale dei detriti spaziali (debris).

---

<sup>34</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

- Space Weather: per il monitoraggio dell'attività del Sole (venti solari, radiazioni elettromagnetiche) e le variazioni fisiche degli strati più alti dell'atmosfera al fine di studiarne gli effetti sulle infrastrutture terrestri e sulla vita degli esseri umani.
- Near-Earth Objects (NEOs): per la rilevazione di oggetti naturali come asteroidi e comete che potrebbero potenzialmente colpire il nostro Pianeta.

La possibilità di realizzare una costellazione di satelliti dedicata allo Space Surveillance Awareness è sicuramente una prospettiva di estremo interesse che potrebbe fornire un preciso indirizzo a buona parte delle tecnologie che sono esposte in questo documento, consentendo una precisa focalizzazione degli investimenti. Partendo dall'assunto che l'interesse verso questa tematica rimarrà quanto meno costante nel futuro e che i programmi sovranazionali, in primis quello ESA, continueranno a ricevere la dovuta attenzione e i relativi investimenti da parte delle Autorità decisionali, un significativo posizionamento da parte delle imprese, degli Enti di Ricerca e delle Università campane in questo settore potrebbe generare grossi ritorni nel medio e nel lungo periodo. La creazione quindi di una costellazione di mini e micro-piattaforme spaziali sarebbe il mezzo ideale per ottenere questo risultato.

Come descritto in questo documento tutti gli elementi essenziali per realizzare questa costellazione potrebbero essere resi disponibili nell'ambito del Territorio regionale, dal sistema di aviolancio, alla piattaforma, alla suite di sensori. Sono opportunità in questo campo: la necessità di monitorare l'ambiente spaziale per ridurre rischi legati ai NEO o le espulsioni di massa coronale; gli investimenti da parte della Comunità Europea (call specifiche) e del Governo italiano; i programmi di ricerca in essere presso ESA (ESA SSA); il fatto che tale tecnologia è fortemente trasversale e mostra numerose applicazioni in ambiti diversi non solo dell'aerospazio; il forte interesse dell'ASI nella programmazione 2017-2020.

Rappresentano minacce: l'esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale e Europeo con scarsa partecipazione dell'Italia e in particolare degli attori campani; la complessità tecnologica legata allo sviluppo di una costellazione di satelliti dedicata allo Space Surveillance Awareness.

Sono punti di forza: la presenza sul territorio di attori con esperienze e competenze necessarie allo sviluppo di una costellazione di satelliti dedicata allo Space Surveillance Awareness; la possibilità di inserimento in network internazionali attivi sul tema; la possibilità di raggiungere sinergie significative con tecnologie affini (e.g. servicing); la possibilità di focalizzare investimenti in ambiti tecnologici affini; la prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università.

È un punto di debolezza il tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali.

#### *2.4.12 Sistemi per il monitoraggio avanzato, per la sorveglianza e sicurezza del territorio, e infrastrutture di trasporto, di aree urbane<sup>35</sup>*

La crescita di capacità dei sistemi finalizzati alla sicurezza dei confini nazionali è un tema particolarmente rilevante nel contesto della Sicurezza Nazionale. I rischi connessi da tenere in considerazione a questo riguardo sono di varia tipologia: essi riguardano l'immigrazione clandestina, l'attacco/sequestro criminale di mezzi di trasporto, attentati e azioni terroristiche, azioni di rapina di merci trasportate, nonché quelli derivanti dal trasporto-rilascio irregolare di merci pericolose o a particolare rischio di inquinamento ambientale, così come dal traffico illegale di merci.

La sicurezza in questo ambito è quindi da riferire all'insieme dei confini marittimi, terrestri e aerei nazionali, con gli specifici requisiti che per essi singolarmente si pongono. Le capacità di controllo sono ricercate essenzialmente con riferimento all'entrata nello spazio nazionale di persone, merci e relativi mezzi di trasporto, ma anche in spazi contigui internazionali (marittimi e aerei), sia per i rischi di diretto interesse nazionale per i trasporti, sia per i rischi anticipabili relativi all'ingresso all'interno dei confini. Il controllo di tali spazi internazionali impone anche una crescente specifica cooperazione tra sistemi e organizzazioni di Stati diversi.

Investire su sistemi avanzati per la sicurezza ed il monitoraggio del territorio è una opportunità che non presenta eccessivi dubbi circa l'appetibilità del settore. L'evolversi della situazione geopolitica nel Mediterraneo metterà a dura prova la capacità di controllo del territorio e dei nostri confini nazionali nei prossimi anni. Di conseguenza è prevedibile un notevole interesse verso nuove tecnologie che possano garantire la sicurezza dei nostri confini e la libera navigazione nel Mediterraneo. L'Italia ha un litorale molto esteso e la sua economia è dipendente in buona parte dai traffici marittimi, quindi un attivo controllo del mare è necessario allo sviluppo della propria economia.

Sono opportunità in quest'ambito i notevoli investimenti da parte della Comunità Europea e del Governo italiano; la forte attrattività della tecnologia considerato il contesto socio-politico attuale; la tecnologia fortemente trasversale e mostra numerose applicazioni in ambiti diversi (e.g. agricoltura di precisione, sorveglianza del territorio e dei confini, ricerca e salvataggio vittime catastrofi etc); il forte interesse dell'ASI nella programmazione 2017-2020, forte sinergia col programma ASI-

---

<sup>35</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Ministero della Difesa COSMO-SkyMed; le importanti posizioni tecnologiche e scientifiche italiane nei sistemi radar ad apertura sintetica dallo spazio e nella radaristica; la sinergia col programma dell' Agenzia Spaziale Europea Copernicus.

Sono minacce: la forte concorrenza a livello internazionale; l'esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale. Sono punti di forza: la presenza sul territorio di attori con esperienze e competenze necessarie; la possibilità di collaborare con partner internazionali; la possibilità di raggiungere sinergie significative con tecnologie affini (e.g. servicing, SSA, micro-piattaforme spaziali, UAS); la possibilità di focalizzare investimenti in ambiti tecnologici affini; la prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università; la possibilità di sviluppare sistemi duali civili-militari.

È un punto di debolezza un tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali.



**Figura 14** – Esempio di Scenario di Monitoraggio con utilizzo di Velivoli non Pilotati.

#### **2.4.13 Sistemi radar ad apertura sintetica basati in configurazione distribuita su più piccole piattaforme aerospaziali operanti in formazione<sup>36</sup>**

Il radar ad apertura sintetica (SAR) è stato sviluppato negli anni Cinquanta con l'intento di migliorare la risoluzione angolare dei radar allora esistenti tramite l'analisi dello spettro del segnale in ricezione di un sistema radar di tipo coerente (Figura 13). L'immagine della regione rilevata è ottenuta distribuendo i valori mediati dell'onda elettromagnetica riflessa dalla superficie (modulo e fase) sulle aree di campionamento. Si ottiene in questo modo

---

<sup>36</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

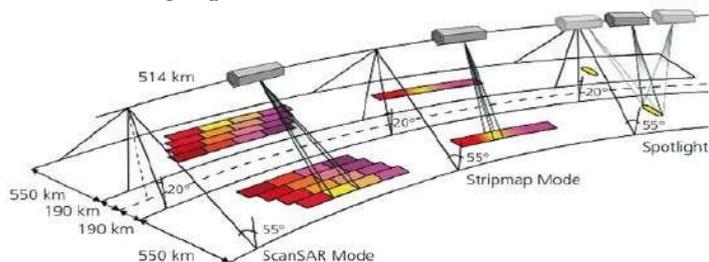
un'immagine pixelizzata, tipicamente in bianco e nero. Quanto più il campione è chiaro, tanto più il modulo dell'onda riflessa è elevato.

A differenza dei sensori ottici, il SAR ha la capacità di osservare oggetti attraverso le nuvole e, anche se solo parzialmente, attraverso le precipitazioni. In questo sistema i dati rilevati sono sottoposti a una complessa procedura di post-elaborazione che consente la generazione di immagini ad alta risoluzione spaziale.

Investire nella realizzazione di un sistema SAR miniaturizzato, per essere impiegato in una costellazione di micro-piattaforme spaziali, è un'opportunità che consentirebbe di entrare in un settore molto dinamico e che solo ora sta iniziando a valorizzare le potenzialità commerciali di questo tipo di sensori. Tenendo presente quanto già proposto precedentemente in questo documento, circa l'opportunità di realizzare una costellazione di micro-piattaforme spaziali equipaggiate con una suite di sensori multifunzione, risulta evidente che un SAR miniaturizzato è il candidato ideale ad essere uno dei sensori costituenti il payload delle piattaforme facenti parte di questa costellazione.

Sono opportunità in quest'ambito: un mercato dinamico e caratterizzato da forti trend di crescita; notevoli investimenti da parte della Comunità Europea e del Governo italiano; il fatto che si parla di tecnologia fortemente trasversale che mostra numerose applicazioni in ambiti diversi (e.g. agricoltura di precisione, sorveglianza del territorio e dei confini, ricerca e salvataggio vittime catastrofi etc); il forte interesse dell'ASI nella programmazione 2017-2020, forte sinergia col programma ASI-Ministero della Difesa COSMO-SkyMed e sue evoluzioni future (programma PLATINO); le importanti posizioni tecnologiche e scientifiche italiane nei sistemi radar ad apertura sintetica dallo spazio e nella radaristica; la sinergia col programma dell'Agenzia Spaziale Europea Copernicus; la rilevanza strategica della tecnologia in ambito socio-politico.

Sono minacce la forte concorrenza a livello internazionale; lo sviluppo di sensori alternativi al SAR che ne rendano meno diffuso l'impiego (i.e. sviluppo ulteriore della tecnologia LIDAR, sviluppo ulteriore dei sensori ottici); l'esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale.



**Figura 15** – Tipico range di copertura di un SAR (Fonte ASI – Sistema Cosmo-SkyMed).

Sono punti di forza: la presenza sul territorio di attori con esperienze e competenze necessarie soprattutto sul piano scientifico ma, in misura sufficiente, anche sul piano tecnologico; la possibilità di collaborare con partner internazionali; la possibilità di raggiungere sinergie significative con tecnologie affini (e.g. servicing, SSA, UAS); la possibilità di focalizzare investimenti in ambiti tecnologici affini; la tecnologia può essere sviluppata con contenuti investimenti economici, quindi anche da PMI ed enti di ricerca; la possibilità di sviluppare sistemi duali civili-militari; la prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università.

Sono punti di debolezza: un tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali; la scarsa partecipazione degli attori campani nei progetti europei.

#### *2.4.14 Tecnologie innovative e strumenti per l'osservazione della terra, diagnostica atmosferica e climatologia. Tecnologia LIDAR<sup>37</sup>*

LIDAR è una tecnica di telerilevamento che permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser, ma è anche in grado di determinare la concentrazione di specie chimiche nell'atmosfera e nelle distese d'acqua. Come per il radar, che al posto della luce utilizza onde radio, la distanza dell'oggetto è determinata misurando il tempo trascorso fra l'emissione dell'impulso e la ricezione del segnale retrodiffuso. La sorgente di un sistema LIDAR è un laser, ovvero un fascio coerente di luce a una precisa lunghezza d'onda, inviato verso il sistema da osservare. Il laser ha in genere un fascio molto stretto, che permette la mappatura di caratteristiche fisiche con risoluzione molto alta, paragonata a quella del radar. Inoltre molti composti chimici interagiscono più attivamente con le lunghezze d'onda del visibile che non con le microonde, permettendo una definizione anche migliore: adatte combinazioni di laser permettono la mappatura remota della composizione dell'atmosfera, rilevando le variazioni dell'intensità del segnale di ritorno in funzione della lunghezza d'onda.

Le ricerche nell'ambito delle tecnologie laser applicate al remote sensing si sono focalizzate, negli ultimi anni, verso l'utilizzazione di dispositivi LIDAR per la mappatura terrestre 3D e per il monitoraggio ambientale tramite la misurazione dell'estensione verticale degli strati dell'atmosfera e lo studio della composizione degli aerosol tramite la misurazione dello scattering delle particelle.

Investire risorse nello sviluppo di nuovi sistemi LIDAR consentirebbe di entrare in un settore molto dinamico e foriero di nuove ed innovative applica-

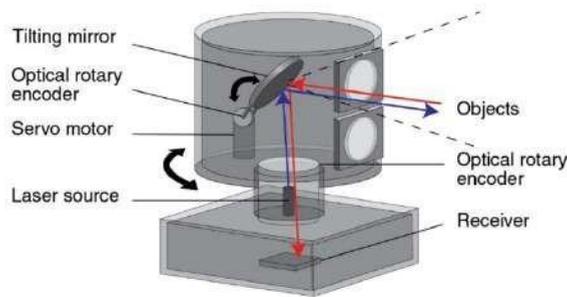
---

<sup>37</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

zioni di questa tecnologia nel futuro prossimo, con particolari ricadute nel monitoraggio ambientale.

Sono opportunità i futuri investimenti da parte della Comunità Europea e del Governo italiano; il fatto che si tratta di una tecnologia fortemente trasversale che mostra numerose applicazioni in ambiti diversi (e.g. analisi concentrazione CO<sub>2</sub>, cambiamenti climatici, svariati rami dell'ingegneria, etc.). Sono minacce: la forte concorrenza a livello internazionale; l'esistenza di progetti avviati a livello mondiale; la possibilità di impiegare tecnologie alternative (e.g. SAR); il fatto che i principali costruttori italiani di sensoristica ottica per applicazioni di telerilevamento non sono in Campania

È un punto di forza la possibilità di collaborare con partner internazionali; un punto di debolezza il tessuto produttivo costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali e la scarsa presenza di attori con esperienze e competenze necessarie.



**Figura 16** – *Sensore LIDAR.*

#### *2.4.15 Sistemi integrati innovativi a costo e peso ridotto per il controllo del traffico aereo, la meteorologia e i movimenti in aree di sorveglianza estese e ristrette, per esempio con utilizzo di smart agent<sup>38</sup>*

Un sensore smart è un dispositivo che acquisisce informazioni dall'ambiente esterno, ed utilizza capacità computazionali di processing presenti al suo interno per eseguire elaborazioni pre-pianificate sui dati acquisiti. I risultati di queste elaborazioni vengono resi quindi disponibili all'utilizzatore finale. Un tipico esempio è costituito dalle moderne centraline meteo compatte, ampiamente diffuse, che elaborano i dati dei sensori e forniscono all'utilizzatore previsioni locali in tempo reale.

---

<sup>38</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".



Sono opportunità in quest'ambito: gli investimenti da parte della Comunità Europea; la forte attrattività della tecnologia considerato il contesto socio-politico attuale; la tecnologia fortemente trasversale in quanto applicabile in contesti e ambiti diversi (e.g. sorveglianza del territorio e dei confini, ricerca e salvataggio vittime catastrofi etc); il forte interesse dell'ASI nella programmazione 2017-2020 anche per la forte sinergia col programma ASI-Ministero della Difesa COSMO-SkyMed; la sinergia col programma dell'Agenzia Spaziale Europea Copernicus.

Sono minacce la forte concorrenza a livello internazionale; l'esistenza di numerosi progetti avviati a livello mondiale. Sono punti di forza la presenza sul territorio di attori con esperienze e competenze necessarie; la possibilità di collaborare con partner internazionali; la possibilità di ottenere sinergie significative con tecnologie affini (e.g. piattaforme spaziali, UAS); la possibilità di focalizzare investimenti in ambiti tecnologici affini; la prossimità territoriale tra realtà produttive, centri di ricerca e Università; la possibilità di sviluppare sistemi duali civili-militari. È un punto di debolezza il fatto che il tessuto produttivo sia costituito principalmente da PMI fortemente dipendenti dalle grandi aziende nazionali.

## **2.5 Health management e manutenzione di strutture e sistemi**

*2.5.1 Intelligent Health Monitoring & Management System: sviluppo di sistemi e/o loro integrazione, sviluppo di metodologie per la definizione dei criteri di soglia e di gestione funzionale anche in caso di allontanamento dalle condizioni nominali<sup>39</sup>*

I sistemi intelligenti di "Health Monitoring & Management" sono sistemi che utilizzano dati acquisiti dalla sensoristica presente a bordo di un aeroplano per monitorare, talvolta predire, e quindi prevenire, potenziali failures.

L'occorrenza di una failure in un aeromobile, nonostante la ridondanza prevista per i sistemi critici, può risultare, oltre che costosa, in un evento catastrofico. A tal proposito le nuove tecnologie diagnostiche e prognostiche consentono di ottimizzare il programma di manutenzione nel suo insieme riducendo gli interventi cosiddetti "unscheduled", e contribuiscono in maniera significativa sia alla sicurezza aerea sia alla minimizzazione dei costi operativi [227]. In questa ottica, i nuovi sistemi di monitoraggio e di gestione assumono un ruolo sempre più importante in operativo, in quanto una volta integrati ai sistemi di bordo sono in grado di efficientare notevolmente l'operatività dell'aeromobile.

---

<sup>39</sup> Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

La filosofia progettuale alla base di strutture complesse, come quelle degli aerei, ha l'obiettivo di assicurare il mantenimento della piena funzionalità del sistema nel tempo. In questa ottica, i sistemi di 'Health Monitoring & Management' assumono un ruolo fondamentale e devono essere concepiti e sviluppati come parte integrante del progetto complessivo al fine di conseguire una filosofia 'near-zero breakdown', ovvero 'quasi nessuna avaria'.

Le tecniche di 'Health Monitoring & Management' utilizzate oggi sono la Vibration Monitoring, la Lubricant Wear Debris, il Motor Current Signature Monitoring, la Thermal Monitoring, l'Acoustic Emission Monitoring, la Performance Monitoring, la Corrosion Monitoring e lo Structural Monitoring. Tali tecnologie consentono di implementare pratiche manutentive basate sulle reali condizioni CBM (Condition Based Maintenance). Lo sviluppo delle tecnologie CBM è comunque direttamente associato alla disponibilità di nuove tipologie di sensori, nuove metodologie di diagnostica e prognostica, nonché all'applicazione di tecniche innovative di analisi computerizzate.

Oggi l'evoluzione dell'approccio CBM sta sempre più conducendo verso nuove metodologie o di tipo 'Prognostics & Health Management' (PHM) volte ad implementare i sistemi di manutenzione intelligente tramite l'utilizzo di opportuni modelli ed algoritmi che, attraverso l'analisi dei dati acquisiti dai vari sensori, forniscono in output una stima dello stato reale del singolo componente e del relativo processo di degenerazione futuro. A tal proposito numerose sono le iniziative che mirano ad incentivare il PHM e sistemi di manutenzione intelligenti delle cui ricadute positive potranno beneficiare anche altri settori oltre quello aeronautico. L'interesse dell'UE nel finanziare ricerche mediante impegno di risorse specifiche per questo ambito è in gran parte legato alla presenza sul Territorio Regionale di costruttori e aziende del settore MRO.

I rischi connessi allo sviluppo di questa tecnologia sono da identificare principalmente nella mancanza di disponibilità dei dati con cui addestrare e validare gli algoritmi diagnostici e ai processi di certificazione aeronautica che in genere risultano lunghi e costosi.

### *2.5.2 Intelligent Health Monitoring & Management System: sviluppo di sistemi e/o loro integrazione, sviluppo di metodologie per la definizione dei criteri di soglia e di gestione funzionale anche in caso di allontanamento dalle condizioni nominali<sup>40</sup>*

Il problema della rilevazione e dell'isolamento dei guasti (*Fault Detection e Isolation*) ricopre un ruolo importante in molteplici ambiti dell'ingegneria tra

---

<sup>40</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli"

i quali certamente l'aeronautica. In quest'ambito è necessario disporre di metodologie che consentano di determinare ogni cambiamento inatteso del sistema (fault) al fine di evitare irregolarità o interruzioni permanenti di una data funzionalità. Il problema della FDI (*Fault Detection e Isolation*) consiste nel monitorare il sistema al fine di determinare se si è verificato un guasto (*Detection*) e di individuarne il tipo (*Isolation*).

Le principali tecniche FDI si distinguono in tecniche di tipo hardware e di tipo software [228]. Nelle tecniche hardware la rilevazione del guasto è affidata o a un dispositivo fisico atto a riconoscere il fault oppure a un sistema ridondante.

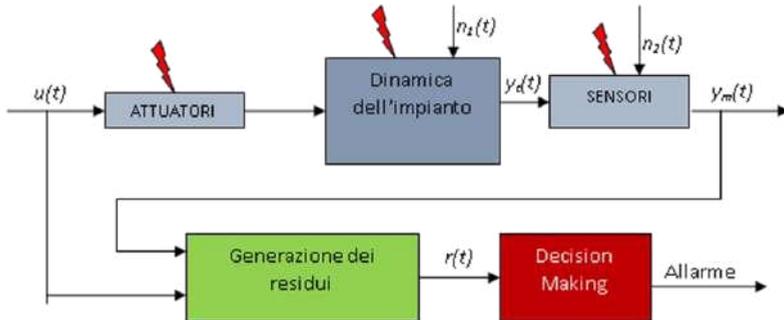
Le tecniche software sono basate su algoritmi che elaborano i dati di opportuni sensori per pervenire alla rilevazione del guasto. In esse si distinguono le tecniche che fanno uso di un modello del sistema più o meno complesso da quelle che non hanno capacità predittiva basata su un modello. Tra le tecniche software non basate sul modello esistono il limit checking, l'analisi in frequenza, gli algoritmi fuzzy.

Tra le tecniche software basate sul modello (*model based method*) si distinguono quelle cosiddette *analitiche* da quelle cosiddette *knowledge based*. Le tecniche analitiche inglobano un modello matematico analitico di tutto o parte dell'impianto in considerazione nella formulazione dell'algoritmo, laddove le tecniche *knowledge based* utilizzano un modello di tipo fuzzy, neurale, o altro costruito sulla base dei dati sperimentali. L'idea fondamentale delle tecniche analitiche è di utilizzare il modello per stimare le variabili misurate, in modo da poterle poi confrontare con le misure, al fine di produrre un certo numero di segnali di errore, chiamati residui, permettendo la rilevazione e l'identificazione del fault. I residui vengono poi analizzati per produrre segnali di allarme (*Decision Making*).

Uno degli obiettivi della FDI è generare dei residui che siano il meno possibile sensibili ai disturbi di processo, al rumore di misura e alle incertezze di modello. I residui devono tendere a zero in assenza di fault (*Relazione di invarianza*) e devono superare un opportuno valore di soglia o presentare una variazione significativa quando si verifica il fault (*Fault Detectability*) [229].

Il problema della valutazione dei residui si può ricondurre al confronto delle caratteristiche (media, varianza, ecc.) di ciascuno di essi con i valori attesi. Quando le caratteristiche del residuo cambiano allora viene dichiarato il fault [228] [230]. La dichiarazione dello stato di fault può essere fatta dopo aver eseguito un opportuno test di ipotesi. Tra i test di ipotesi più utilizzati in

ambito FDI, si ritrovano il *Generalized Likelihood Ratio* test (GLRT), il *Sequential Probability Ratio* test (SPRT), e il CUMSUM test.



**Figura 18** – Schema di generazione dei residui.

Una repentina diagnostica dei fault permette di riconfigurare il sistema di controllo in modo da portare a termine la missione in condizioni di sicurezza. Per tal motivo questa tematica è oggetto di studi e di progetti di ricerca industriali.

Le università e i centri di ricerca focalizzano i loro sforzi per sviluppare metodologie e algoritmi sempre più efficienti e computazionalmente performanti, mentre l'industria cerca il modo di attuarli sviluppando sistemi elettronici (processori, sensori, etc.) affidabili e precisi.

Questa tematica, quindi, non coinvolge solo il settore aerospaziale ma anche i settori dell'elettronica e dell'automazione. Inoltre, i progressi tecnologici raggiunti nel settore aerospaziale possono essere applicati ad altri settori come l'automotive, l'automazione industriale, l'ingegneria dei processi, etc.

Non si individuano significative minacce per lo sviluppo della tematica in questione se non la complessità di far rendere compatibili i sistemi di rilevazione dei guasti basati su algoritmi con la normativa aeronautica.

### 2.5.3 Tecnologie ottiche innovative di tipo shearography, olografico e termografico per controlli non distruttivi<sup>41</sup>

I controlli non distruttivi (Non Destructive Test - NDT) sono alla base del processo di manutenzione ed hanno lo scopo di verificare l'efficienza di un componente e garantire l'aeronavigabilità dell'aeroplano. Gli aeromobili nel

<sup>41</sup> Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

corso della loro vita operativa sono soggetti a molteplici controlli ed ispezioni, volti a verificare lo stato di deterioramento di varie tipologie di componenti soggetti a fenomeni di usura (corrosione, fatica, carichi impreveduti, etc.). A tal proposito le attuali metodologie di progettazione di tipo "Damage Tolerance" prevedono che il velivolo sia necessariamente soggetto a cicli d'ispezione programmata periodici. Durante le operazioni di manutenzione programmata e non, i test non distruttivi (NDT) rappresentano uno dei modi più rapidi ed economici per eseguire le ispezioni e sono l'unico modo per evidenziare problemi altresì non identificabili ad occhio nudo. I test non distruttivi attualmente più utilizzati si basano su diversi principi fisici quali basati sull'utilizzo di correnti parassite, particelle magnetiche, liquidi penetranti, raggi X, ultrasuoni e metodi ottici. Le tecniche basate sull'utilizzo di ultrasuoni e raggi X risultano oggi largamente utilizzate mentre nuove tipologie di NDT ottici stanno suscitando un interesse crescente grazie alle caratteristiche di imaging di alta precisione e sensibilità. Una rassegna delle principali tecnologie NDT ottiche annovera diverse metodologie, tra cui termografia a infrarossi, fibre ottiche, speckle elettronico, tecnologia endoscopica, shearography, holographic, interferometry e terahertz [231].

I metodi non distruttivi sono sempre più applicati anche all'ispezione di componenti in materiale composito. I compositi sono sempre più utilizzati in ambito aeronautico dal momento che consentono ai progettisti di superare i limiti dei materiali metallici riducendo il peso e migliorando il comportamento a fatica delle strutture. I compositi tuttavia presentano modalità di danneggiamento differenti e più complesse, rispetto a quelle tipiche dei materiali metallici. Inoltre le problematiche che insorgono all'interno dei compositi sono raramente individuabili mediante una semplice ispezione visiva ad occhio nudo e necessitano di una fase d'ispezione in genere più approfondita ed accurata.

Nell'ambito dei NDT ottici molti sono sia i progetti di ricerca in ambito europeo, volti a testarne l'efficacia ed i limiti delle varie tecniche, anche in relazione all'applicazione sui materiali compositi [232]–[234], sia le aziende e gli enti di ricerca sul territorio nazionale che realizzano attività di ricerca sui controlli non distruttivi, si cita il Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (CIRA).

Fra i maggiori aspetti ostativi che minano lo sviluppo di questa traiettoria tecnologica vi è la lentezza del processo di certificazione dei metodi innovativi in sé ma anche del personale addetto, condizione che riduce l'interesse degli operatori verso le attività di ricerca in corso. D'altra parte, la continua evoluzione delle tecniche NDT/NDE rappresenta un campo di investigazione strategico per lo sviluppo tecnologico delle MRO, essendo queste direttamente correlate alla efficacia delle ispezioni richieste nei controlli periodici a cui

devono essere sottoposti gli aeromobili, ma più in generale dell'intero comparto settore aerospaziale.

#### 2.5.4 Inferenziazione, tecnologie ITC (mobile) e Robotica per Real-Time Interdisciplinary Maintenance (i-Maintenance)<sup>42</sup>

Con il termine 'Real-Time Interdisciplinary Maintenance' (i-Maintenance) si indica un sistema che colleziona, analizza e trasferisce i dati del ciclo di vita del prodotto e fornisce in tempo reale informazioni utili inerenti diversi aspetti. L'i-Maintenance trova il suo fondamento nella tecnologia 'digital twins' [235], sempre più adottata dai costruttori aeronautici.

In un ambiente di lavoro digitalizzato le operazioni di manutenzione e le strategie di prodotto possono essere migliorate attraverso la conoscenza dello stato attuale dei sistemi e degli altri componenti anche per mezzo di database, continuamente aggiornati in *real-time*, che consentano di migliorare la prognostica durante le operazioni manutentive. L'i-Maintenance mira ad integrare la sensoristica ed altri componenti software in uno scenario manutentivo interdisciplinare con l'obiettivo di creare un 'comprehensive digital twin' di un aeromobile intero, instaurando una comunicazione continua tra l'Operatore e l'impresa di MRO. Contestualmente i progressi della robotica e i progressi dell'era digitale stanno mettendo a disposizione nuove tecnologie in grado di fornire capacità aggiuntive soprattutto per quel che riguarda lo svolgimento di operazioni ispettive caratterizzate da un forte disagio per gli operatori [236] (es. ispezione di impennaggi di grossi velivoli) ed i processi manutentivi dove l'automazione meglio garantirebbe il rispetto dei parametri di processo (es. riparazione fusoliere in composito).

In quest'ottica, nella progettazione di un sistema di gestione della manutenzione si dovrebbe tener conto di aspetti altamente interdisciplinari correlati sia all'integrazione delle diverse metodologie e tecnologie sia alla risoluzione delle problematiche di integrazione ed interfacciamento dei singoli processi. A tal proposito una possibile soluzione per superare la divisione che sussiste fra le discipline in ambito manutentivo, potrebbe essere quella di favorire la costituzione di gruppi di lavoro interdisciplinari/internazionali che siano approvati da enti di ricerca riconosciuti in ambito mondiale. Allo stato attuale la traiettoria tecnologica dell'i-Maintenance non ha ancora oltrepassato il suo stato di lancio, i.e. non è ancora entrata nel suo stato di crescita. Questo ritardo è probabilmente dovuto al fatto che prim'ancora di occuparsi

---

<sup>42</sup> Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

della realizzazione di un sistema di gestione real-time della manutenzione a spiccato carattere interdisciplinare, è necessario far crescere e maturare le tecnologie ad esso propedeutiche. A questo proposito, l'Unione Europea ha investito diversi milioni di euro nei progetti UPTIME, AIRMES, Second Hands.

Le ricerche effettuate in tale ambito hanno fatto emergere che la traiettoria tecnologica dell'i-Maintenance presenta un TRL pari a 3 (una tecnologia TRL 3 è caratterizzata da funzionalità critiche analitiche e sperimentali e/o caratteristica verifica teorica) ed è ancora agli albori del suo stadio di lancio in condizioni di lenta crescita. Pertanto, investire in una tecnologia ancora incerta potrebbe di per sé già esporre a rischi elevati ai quali vanno aggiunti i rischi connessi alle procedure di certificazione dei metodi di manutenzione innovativi.

### *2.5.5 Tecnologie e sistemi basati su realtà virtuale per il miglioramento del processo di manutenzione con l'utilizzo degli smart agent<sup>43</sup>*

Possono esservi casi in cui i metodi di formazione tradizionali, come la formazione sul posto di lavoro denominata On the Job Training (OJT), possono non essere in grado di soddisfare i requisiti per le future tendenze nella manutenzione aeronautica e nella formazione per la manutenzione. Inoltre, i tecnici aeronautici esperti sono spesso troppo occupati con compiti di manutenzione che sono necessari dal punto di vista operativo per dividere i loro sforzi tra la conduzione di OJT e la loro funzione principale di lavoro (cioè la manutenzione degli aeromobili). In questa ottica, l'OJT tradizionale potrebbe non essere in grado di fornire la formazione necessaria a tecnici alle prime armi, come fatto in passato.

Un modo per raggiungere l'obiettivo della filosofia OJT nell'industria aerospaziale può essere quello che prevede l'uso di realtà aumentata (RA). La realtà aumentata è una tecnologia di visione artificiale e computer grafica che unisce oggetti reali e virtuali in scene unificate e spazialmente integrate [237]. I sistemi basati sulla realtà aumentata mescolano il mondo reale e il mondo virtuale (ad es. Oggetti, testo) in un ambiente, in tempo reale [237]. Per realtà aumentata si intende il miglioramento della percezione sensoriale umana mediante informazioni generate da input sensoriali. L'adozione di tale tecnologia consente l'aggiunta di dati e informazioni alla visione della realtà e agevola quindi qualsiasi decisione relativa al processo produttivo, migliorando le procedure di lavoro. I vantaggi e i benefici derivanti dall'adozione di tali tecnologie sono stati ampiamente riscontrati da importanti produttori di

---

<sup>43</sup> Università degli Studi del Sannio di Benevento & Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

aeromobili a livello globale. La corrente letteratura scientifica riporta i risultati di uno studio pilota in cui sono stati intervistati 15 operatori sull'uso di wearable technologies nelle attività di manutenzione, mostrando come l'implementazione di queste ultime consente una riduzione del tempo di completamento per due attività di manutenzione del 7,7% e dell'11,6% [238]. Inoltre, vale la pena notare che gli utenti hanno apprezzato la riduzione del tempo di movimentazione tra la postazione di lavoro e la postazione per la consultazione di manuali. Secondo Boeing e Iowa State University [239], è possibile ottenere il 90% di miglioramento della qualità di un'operazione da parte di un operatore e il 30% nella riduzione delle tempistiche quando i tecnici incaricati della manutenzione di una struttura alare sono dotati di tablets. L'infrastruttura di manutenzione dell'aeromobile dovrebbe, quindi, prendere in considerazione l'implementazione di metodi di formazione alternativi che potrebbero fungere da ausili alla prestazione lavorativa.

Un'altra applicazione molto rilevante della realtà aumentata è il supporto al sistema di monitoraggio delle strutture, utilizzando particolari tipi di visori, l'ispettore può stimare, attraverso una rappresentazione visiva immediata, la posizione dell'impatto nella struttura aerea di un oggetto. La localizzazione viene direttamente rilevata dal dispositivo a realtà aumentata e sovrapposta alla visione della struttura sotto test dell'operatore. Vale la pena notare che la fusoliera e le ali sono strutture di grandi dimensioni (ad esempio fino a 80 metri di apertura alare per l'Airbus A380 e 72 metri di lunghezza della fusoliera), quindi la localizzazione della posizione di eventuali impatti con alta precisione, non è un compito facile. Inoltre, nelle strutture a base composita processi come ad esempio la delaminazione, avvengono all'interno del materiale senza evidenza visibile di danno nella superficie esterna della struttura. Usando le tecniche RA, è così possibile localizzare un danno in una struttura di notevoli dimensioni in poco tempo, valutarne la posizione anche su parti con una geometria complessa o in una posizione nascosta difficile da ispezionare.

Nell'industria aeronautica la modalità di gestire la problematica degli 'human factors', è guidata principalmente dalle autorità aeronautiche competenti che sono deputate ad assicurare che i possibili errori dovuti al comportamento umano siano contenuti. A tal proposito gli errori di manutenzione sono una minaccia riconosciuta per la sicurezza aerea, anche in virtù del fatto che il personale delle MRO o della Linea di volo, responsabile della manutenzione degli aeromobili, spesso lavora sotto forti pressioni, pur dovendosi rigorosamente attenere a tutte le istruzioni applicabili. Inoltre, in questo campo ci sono poche simulazioni e pochi strumenti computer-based per la gestione di problemi dovuti agli human factors. In tale ottica, l'utilizzo di sistemi computerizzati

faciliterebbe l'accesso alla documentazione ed alle informazioni a disposizione dei tecnici manutentivi sia durante la fase di addestramento dei nuovi tecnici certificati sia nel corso degli interventi manutentivi, efficientando significativamente entrambe queste fasi. A tal fine l' 'Augmented Reality' è una tecnologia promettente per costruire interfacce avanzate utilizzando sistemi di visualizzazione interattivi e portatili che implementino strategie innovative di consultazione della documentazione (dati digitali/multimediali, grafici, tabelle). Un indiscutibile beneficio introdotto dall'utilizzo di un sistema di AR potrebbe essere sia quello di prevenire l'abbandono dell'aereo da parte dell'operatore, al fine di reperire le informazioni necessarie per le operazioni manutentive dai manuali, sia fornire feedback rapidi e accurati contenenti le indicazioni necessarie al completamento con successo del task di lavoro [240]. Il contesto della manutenzione aeronautica potrebbe fungere quindi da applicazione naturale per i sistemi AR, dal momento che necessita sia di un elevato e continuo livello di attenzione per l'espletamento di uno specifico task, che della capacità di sintetizzare numerose informazioni aggiuntive, quali: sequenze e procedure complesse, identificazione di componenti e dati testuali. Un esperimento qualitativo/quantitativo ha mostrato che l'utilizzo di tecnologia AR consentirebbe un miglioramento delle prestazioni del personale manutentivo fino al 30% ed una riduzione teorica dei costi fino al 25%. Un potenziale svantaggio connesso all'AR consiste nell'istaurarsi di una 'dipendenza' dell'utente da questa tecnologia. Con il trascorrere del tempo l'utente potrebbe non essere in grado di eseguire il task manutentivo senza l'ausilio di tali sistemi.

Nonostante i significativi progressi nella tecnologia, l'AR è ancora considerata in fase di lancio dal momento che alcuni fattori chiave propedeutici al suo sviluppo sono legati alla necessaria conoscenza interdisciplinare in aree quali: il riconoscimento oggetti, la computer grafica, l'intelligenza artificiale e l'interazione uomo-computer. Tali discipline richiedono una comprensione parziale del contesto, da parte della macchina, al fine sia di elaborare strategie d'adattamento a condizioni imprevedute sia di comprendere le azioni e le intenzioni dell'utilizzatore. Per quel che riguarda le problematiche inerenti allo sviluppo dell'AR ad applicazioni aeronautiche, queste possono essere suddivise in: Enabling Technologies (legate principalmente alla disponibilità ed alle prestazioni dei componenti software e hardware per sistemi AT), User Interaction (sviluppo di interfacce semplici d'apprendere ed utilizzare), Social Context (legata all'accettazione di una nuova tecnologia in ambito aeronautico).

Ad oggi l'AR è una traiettoria tecnologica consolidata (TRL 4) nel pieno del suo stato di crescita, che tuttavia risulta essere ancora condizionata da seri problemi che ne mettono a repentaglio l'implementazione in ambienti

industriali, come ad esempio le difficoltà connesse alla “preparazione d’ambiente”. I maggiori rischi allo sviluppo di queste tecnologie sono legati essenzialmente: al contesto sociale, alla poca esperienza, ai problemi di miniaturizzazione degli hardware, alla così detta ‘fatica digitale’ e alla disponibilità di un’interfaccia ‘user friendly’, attualmente problema maggiormente percepito.

Investire in una tecnologia in rapido sviluppo potrebbe essere, sebbene sussista un certo livello di rischio, una scelta vincente nel medio periodo, come dimostra l’interesse rivolto a tale traiettoria tecnologica non solo da parte dell’UE ma anche di numerosi enti di ricerca internazionali presenti sul territorio nazionale (CIRA e Politecnico di Milano).

#### *2.5.6 Tecniche di intelligenza artificiale per il supporto al sistema decisionale e utilizzo dei big data della MRO e supporto alle operations della MRO<sup>44</sup>*

La Maintenance, repair and overhaul (MRO) nell’industria aeronautica è un processo complesso che segue requisiti rigidi definiti dalle autorità di aeronavigabilità per garantire la sicurezza dei passeggeri e dell’equipaggio. Essa può essere definita come l’insieme di tutte le azioni che hanno l’obiettivo di conservare o ripristinare un elemento in modo da poter eseguire la funzione richiesta. Le azioni, quindi, comprendono la combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative, gestionali e di supervisione [38]. Kinnisson [39] afferma che la manutenzione può essere descritta come il processo per garantire ad un sistema di eseguire in maniera continuativa le funzioni previste con un certo grado di affidabilità e sicurezza. Viles et al. [241] stabilisce che l’obiettivo della manutenzione è non solo nella riduzione dei tempi di riparazione ma anche nel miglioramento dell’affidabilità del prodotto, nonché per acquisire informazioni rilevanti per l’analisi di un determinato sistema. L’importanza della MRO può essere apprezzata dal fatto che essa costituisce in genere il 12-15 per cento del costo operativo di una compagnia aerea [242], con una spesa annua stimata in 50 miliardi di dollari e un impiego di 480.000 persone nel mondo nel 2013. McFadden e Worrells [243] affermano che le MRO in tutto il mondo sono aumentate in risposta alla continua e crescente domanda in un segmento vitale dell’industria aeronautica.

Una risposta alle esigenze specifiche delle MRO è data da tecnologie emergenti, quali l’Intelligenza Artificiale e l’utilizzo dei Big Data, soprattutto per quel che concerne l’analisi dei dati storici degli inconvenienti e dei *fault*

---

<sup>44</sup> Università degli Studi del Sannio di Benevento & Università degli Studi di Napoli “Parthenope”.

segnalati, al fine di estrarre *features*, caratterizzanti quest'ultimi, la cui conoscenza è utile a per efficientare la prognostica e quindi il processo manutentivo.

Le tecniche di classificazione dei dati utilizzano sia metodi statistici che di intelligenza artificiale (AI): su questi ultimi si basano oggi le principali metodologie di analisi, comprese quelle note come data-driven. In particolare, queste ultime risultano particolarmente interessanti poiché spesso non prevedono la necessità di sviluppare complessi modelli matematici del sistema o processi di monitoraggio. Le tecniche di stima Bayesiana ricorsive si sono dimostrate essere molto potenti al fine di affrontare il problema della incertezza sulla stima relativamente al campo della prognostica. Nell'inferenza Bayesiana le probabilità non sono interpretate come frequenze, proporzioni o concetti analoghi, ma piuttosto come livelli di fiducia nel verificarsi di un dato evento. Altri approcci molto utilizzati sono la *Relevance Vector Machine (RVM)*, e l'*Artificial Intelligence (AI)*.

Con "Big Data" ci si riferisce al massivo ammontare di dati acquisiti su nuove piattaforme i quali, se intelligentemente investigati, possono fornire informazioni utili su processi, tendenze ed efficienze. A tal proposito, le aziende moderne sono sottoposte ad un continuo incremento di informazioni provenienti da più fonti, sia interne che esterne, noto come Big Data explosion. La possibilità di accedere ad un numero così elevato di informazioni eterogenee implica la perdita di controllo: informazioni vitali o strategiche possono andare perdute nella vastità di dati disponibili. Esiste quindi un fortissimo interesse di analizzare e interpretare il massiccio ammontare di dati spesso disponibili in forma non strutturata.

A tal proposito l'utilizzo di modelli predittivi applicati ai "Big Data" non solo consente di scoprire i trend presenti, ma anche di prevedere comportamenti futuri, aiutando nello sviluppo di strategie mirate ed efficaci al fine di migliorare la produttività e la qualità dei processi anche attraverso l'ottimizzazione nell'utilizzo delle risorse. Un efficace utilizzo delle risorse oggi è certamente una esigenza strategica anche nel comparto aeronautico.

Un sistema MRO efficiente, supportato dalla tecnologia Big Data, consente di ridurre il tempo richiesto per la manutenzione assicurando che questa operazione venga eseguita solo quando necessario. La manutenzione degli aeromobili comprende la *scheduled maintenance*, che consiste in tutte le attività da eseguire in base ai limiti di manutenibilità [244] e alla manutenzione non programmata, che deriva da discrepanze identificate durante le attività non programmate. Altre attività di manutenzione non programmata si effettuano in base a report pilota, eventi imprevisi verificatisi durante il normale funzionamento o analisi dei dati [245]. In termini di carico di lavoro, la manuten-

zione programmata è essenzialmente deterministica poiché consiste in attività di ispezione predeterminate eseguite a intervalli prestabiliti, mentre la manutenzione non programmata è intrinsecamente stocastica poiché dipende dalla natura probabilistica dei guasti [246].

In questo contesto, i Bayesian networks (BN) utilizzano i Big Data considerati adatti alla analisi predittiva Big Data Predictive Analysis (BDPA) [247] e rappresentano uno strumento da utilizzare all'interno delle MRO degli aeromobili, fornendo informazioni riguardanti la grande quantità di dati generati e memorizzati durante il processo di pianificazione e trasformandoli in importanti indicazioni. I BN sviluppati fino ad oggi processano l'incertezza dei carichi di lavoro nella manutenzione degli aeromobili, considerando le variabili che sono tipicamente ignorate dal processo di pianificazione, come il pilota dell'aereo, la versione dell'aeromobile e il tipo di utilizzo dell'aeromobile. I vantaggi dell'utilizzo dei BN come strumento BDPA nella manutenzione degli aeromobili sono dimostrati attraverso il miglioramento delle stime e decisioni in ambito MRO. Un'applicazione dell'utilizzo delle BN riguarda la capacità di pianificazione, in cui i carichi di lavoro sono desunti dalla richiesta di variabili con informazioni diverse [248]. Un'ulteriore applicazione si riferisce alla pianificazione delle vendite, in cui gli operatori, i servizi di manutenzione e le versioni degli aeromobili vengono dedotti richiedendo carichi di lavoro che rappresentano la manodopera disponibile [249]. Ciò ha permesso lo sviluppo di strumenti BDPA generici basati su BN, applicabili a qualsiasi MRO di aeromobili o anche ad altre industrie MRO con i dovuti adattamenti. Le soluzioni esistenti per i problemi di MRO degli aeromobili utilizzano quattro principali architetture: Deep Autoencoders (DAE), Long Short-Term Memoria (LSTM), Convolutional Neural Networks (CNN) e Deep Belief Networks (DBN) i quali hanno rilevanza solo se si ha a disposizione una mole di dati adeguata, risulta così fondamentale l'utilizzo dei Big Data per i processi manutentivi.

In Europa numerosi sono i progetti di ricerca che trattano l'utilizzo di sistemi AI nella diagnostica real-time, anche con riferimento alle tecniche di Health Monitoring e di Augmented Reality e che mirano a massimizzare l'utilizzo degli aeromobili riducendo gli *interrupt* operativi, tra cui: PACMAN e WISE, quest'ultimo lanciato dal leader mondiale nelle tecnologie di riparazione rapida di aerei (SUNAERO). Nonostante ciò l'industria aeronautica è solo agli albori dell'utilizzo dell'AI e delle tecniche basate sui Big Data. Tuttavia, considerati gli enormi vantaggi derivanti dall'uso di queste tecnologie emergenti la tendenza a utilizzare l'AI e i Big Data nel settore dell'aviazione continuerà a crescere nei prossimi anni. L'intelligenza artificiale è oggi il punto di forza dello sviluppo tecnologico mondiale: è il nuovo su cui le

aziende puntano per raggiungere i grandi obiettivi prefissatesi nel campo dell'innovazione. Il tema dell'apprendimento automatico può essere considerato, ad oggi, probabilmente il filone in questo campo più promettente per il futuro. L'uso ottimizzato dei sistemi di intelligenza artificiale sia per il supporto decisionale in ambito industriale che per la logistica dei flussi di lavoro all'interno delle aziende, oltre ad essere un investimento di modernizzazione, è da alcuni visto come un passo obbligato verso il futuro. Investire in AI e Big Data può contribuire significativamente alla strategia di sviluppo tecnologico del settore aeronautico della Regione Campania.

### 3. Programmi di Ricerca e Sviluppo Nazionali e Comunitari

Nel presente capitolo si descrivono obiettivi e programmi della ricerca aerospaziale a livello nazionale e comunitario. Ove possibile sono separate le iniziative in ambito aeronautica e aviazione da quelle in ambito spazio. Oltre ai programmi sono altresì descritte le organizzazioni di ricerca di riferimento nei paesi trainanti per l'Europa. La descrizione proposta fornisce una panoramica sulle strategie di medio e lungo termine e sui modelli organizzativi per il finanziamento pubblico della Ricerca. Nei diversi paragrafi si pone l'accento sui diversi aspetti privilegiando ora l'uno, ora l'altro.

Al fine di identificare quali sono le priorità dell'Europa in relazione alla Ricerca e Sviluppo nell'Aviazione e nell'Aeronautica, sono di seguito analizzati tre importanti contributi: la visione di ACARE a lungo termine sull'aviazione [250]; gli obiettivi presenti e futuri dei programmi Clean Sky [251]–[253] e SESAR [254].

Relativamente ai finanziamenti pubblici emerge che sono necessari interventi mirati e specifici per superare la crisi del mercato e colmare il divario tra gli esiti della ricerca scientifica e tecnologica e lo sviluppo dei prodotti.

Strumenti di finanziamento adeguati devono creare ricerca e sviluppo tecnico sostenibili, stabili, prevedibili o a rischio gestibile. Essi devono supportare a programmi della durata di dieci o vent'anni. A questo scopo, i partenariati pubblico-privato congiunti si sono dimostrati meccanismi efficaci. Vi è necessità di strumenti di finanziamento specifici per sostenere la ricerca di base e applicata fino alla dimostrazione tecnologica. Per rimanere attraenti e promuovere gli investimenti privati, i programmi di ricerca e innovazione esistenti devono essere semplificati e consolidati con regole e processi semplici e snelli adatti a tutti i tipi di entità.

Gli attuali programmi Clean Sky 2 e SESAR 2020 forniscono garanzie di finanziamento e stabilità necessarie per sviluppare e introdurre innovazioni rivoluzionarie nell'aeronautica. Dimostratori tecnologici volanti e a terra sono in via di completamento entro il 2025. Essi potranno sostenere l'innovazione per le prossime generazioni di aeromobili in tempo per il momento in cui si dovrà rinnovare l'attuale flotta di velivoli.

Processi industriali innovativi dovranno essere sperimentati prima del 2035 nell'ambito di futuri programmi di finanziamento mentre, entro il 2050 la ricerca dovrà consentire all'aviazione di affrontare le sfide dell'UE in mate-

ria di decarbonizzazione e digitalizzazione in un'economia in continua evoluzione, competitiva e circolare.

Nell'ambito Spazio, oltre a una presentazione dei principali organi per la ricerca spaziale, viene illustrata la Piattaforma Spazio "SPIN-IT Space Innovation in Italy" che è la piattaforma tecnologica nazionale dedicata allo Spazio, nata per promuovere l'innovazione e rafforzare la presenza italiana nei programmi europei e internazionali di ricerca applicata in questo settore.

### **3.1 La Pianificazione ACARE<sup>51</sup>**

L'Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE) è un organo consultivo europeo che mira a migliorare la competitività e la sostenibilità dell'UE nel campo dell'aeronautica. Si tratta di un partenariato pubblico-privato tra la Direzione Generale per i trasporti e l'energia della Commissione europea e i leader dell'industria. ACARE conta circa 40 membri.

L'aviazione è riconosciuta come uno dei principali settori tecnologici avanzati in Europa e genera innovazione che avvantaggia la società ben al di là della sua sfera operativa diretta. Fornisce quasi dodici milioni di posti di lavoro altamente qualificati e contribuisce per oltre 700 miliardi di euro al prodotto interno lordo europeo. Con circa 400 compagnie aeree e quasi 700 aeroporti, l'aviazione europea svolge un ruolo chiave nel soddisfare le esigenze della società per una mobilità sicura, affidabile e sostenibile in Europa e in tutto il mondo.

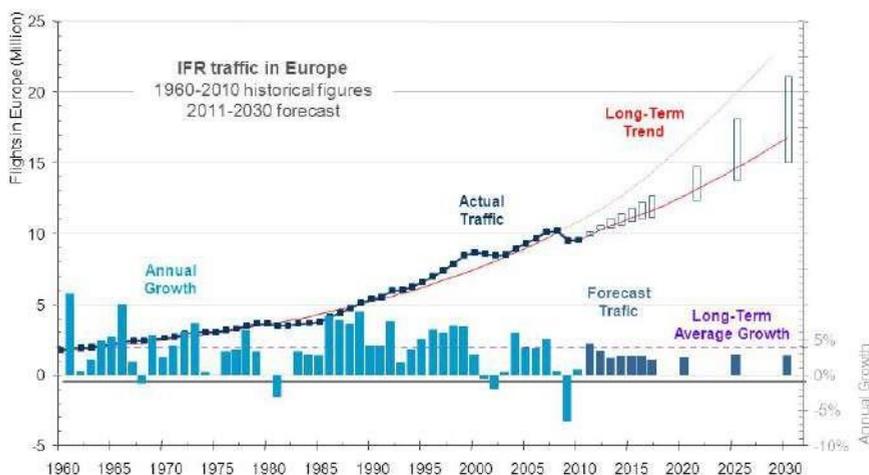
Si prevede che la domanda europea di trasporto aereo crescerà continuamente fino al 2050 e oltre. La concorrenza industriale è agguerrita, non solo da parte delle regioni mondiali consolidate a livello industriale ma anche da parte dei paesi emergenti.

Nel 2011 un gruppo europeo di esperti ha delineato una visione a lungo termine dell'aviazione europea con la pubblicazione di un rapporto sulla base del quale, ACARE ha prodotto nel 2012 un'Agenda strategica per la ricerca e l'innovazione (SRIA) che ha definito il percorso per raggiungere alcuni ambiziosi traguardi.

L'aviazione contribuisce all'integrazione geografica dell'Europa, sostenendo così la sua integrazione economica e politica. I progressi avvantaggiano direttamente l'aviazione commerciale, ma i miglioramenti sono evidenti anche per altri utenti dello spazio aereo, per applicazioni di ricerca e soccorso, applicazioni di emergenza e di sicurezza pubblica, nonché applicazioni per il mercato ricreativo.

---

<sup>51</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".



**Figura 19** – Trend di crescita del numero di voli annui in Europa (EuroControl-2017).

Si prevede che il numero dei passeggeri raddoppierà nell'arco di 20 anni e le attuali infrastrutture terrestri dell'aviazione non saranno in grado di accogliere i volumi di traffico incrementati. La domanda di servizi alle aree regionali e urbane è aumentata con la liberalizzazione del mercato europeo. Un maggior numero di voli richiederà ulteriori sviluppi in materia di sicurezza. Inoltre, i sistemi aerei a pilotaggio remoto (RPAS) dovranno essere integrati correttamente.

Dunque, il settore dell'aeronautica e dell'aviazione avrà dei requisiti nuovi da soddisfare. In questo contesto, si prevede che la ricerca e l'innovazione porteranno tecnologie cosiddette "dirompenti" tra cui nuove configurazioni di aeromobili, propulsori, impianti e sistemi, materiali, energie alternative, infrastrutture, elettronica, digitalizzazione e sistemi IT e interfacce uomo-macchina per citarne alcuni.

Gli ambiziosi obiettivi di Flightpath 2050 [250] elaborato da ACARE sono mirati a raggiungere due obiettivi principali: in primo luogo a soddisfare le esigenze della società per un trasporto aereo più sicuro, più efficiente e rispettoso dell'ambiente; e, in secondo luogo, a mantenere una leadership Europea in questo settore.

Dal 2012 alcune condizioni a contorno hanno richiesto un aggiornamento del piano ACARE: incidenti aerei come il MH370, MH17, Germanwings 9525; minacce alla sicurezza informatica per i sistemi di bordo o i sistemi ATM; sviluppi nella digitalizzazione e nei big data; requisiti più stringenti per le

emissioni di particelle di CO2 e ultra-sottili; maggiore importanza data al rumore acustico; nuovi concetti relativi ai sistemi di mobilità, ai modelli di business e ai tipi di velivoli, inclusi gli RPAS; maggiore competitività per gli stakeholder europei del trasporto aereo; nuove tecnologie, materiali, processi di produzione e concetti di sistema; legislazioni sulle sostanze pericolose che impattano sui processi e i prodotti certificati per l'aviazione; disponibilità di infrastrutture di ricerca e testing appropriate; disponibilità di forza lavoro specializzata.

Segue una breve presentazione delle Sfide formulate da ACARE.

#### *Sfida #1: Soddisfare i bisogni della società e del mercato*

Al fine di soddisfare tutti i segmenti di clientela e tutte le tipologie di trasporto aereo, l'aviazione commerciale dovrà fornire il massimo livello possibile di prestazioni e di prevedibilità del servizio. In un ambiente di trasporto avanzato e innovativo c'è bisogno infatti di offrire ai clienti l'accesso a informazioni affidabili e tempestive.

Obiettivi identificati da ACARE per questa sfida sono: (1) i cittadini europei dovranno essere in grado di compiere scelte di mobilità informate; (2) il 90% dei viaggiatori in Europa dovrà essere in grado di completare il viaggio, *end to end* entro le 4 ore; (3) dovrà essere sviluppata un'infrastruttura di terra coerente; (4) i voli dovranno arrivare entro 1 minuto dall'orario di arrivo previsto; (5) il sistema di gestione del traffico aereo dovrà essere in grado di gestire almeno 25 milioni di voli all'anno.

#### *Sfida #2 Mantenere e rafforzare la leadership industriale*

Il mercato globale dell'aviazione sta aumentando di dimensioni e l'Europa deve adoperarsi per mantenere la propria competitività industriale. I nuovi modelli di business cambiano anche il modo in cui vengono finanziati i nuovi sviluppi. I costi di ingresso nel settore aerospaziale si sono ridotti con il maggiore utilizzo di modelli di business digitali e basati sui dati. L'Europa offre peraltro molte opportunità di sfruttare le proprie capacità a livello globale, avendo anche costruito forti alleanze con i partner emergenti. Per quanto riguarda le risorse umane, l'Europa deve attrarre e trattenere i migliori talenti sostenere un'innovazione, una ricerca e uno sviluppo tecnologico di alto livello. La leadership nell'innovazione è un importante elemento di differenziazione competitivo, in particolare nei settori dell'energia e delle prestazioni ambientali. Le politiche di sostegno devono essere sviluppate per includere

strumenti intersettoriali emergenti come la digitalizzazione, i big data e i nuovi paradigmi industriali (e.g. Industria 4.0).



**Figura 20** – Per dare un’idea della leadership Europea nell’aviazione, si mostra il quadro di insieme dei principali risultati ottenuti dal Consorzio AIRBUS nel 2018.

### Sfida #3 Proteggere l’ambiente e le riserve di energia

Gli obiettivi ambientali di Flightpath 2050 riconoscono la necessità per l’aviazione di accelerare i suoi sforzi per ridurre le emissioni che influiscono sul cambiamento climatico, sul disturbo acustico e sulla qualità dell’aria per consentire una crescita sostenibile del traffico.

Ecco le aree di azione relative a questa sfida: sviluppare i velivoli del futuro con concetti cosiddetti evolutivi o rivoluzionari; aumentare l’efficienza nell’uso delle risorse e il riciclaggio; migliorare le prestazioni ambientali delle operazioni aeree e della gestione del traffico; migliorare l’ambiente aeroportuale; fornire la quantità necessaria di energia alternativa a prezzi accessibili; comprendere l’impatto climatico dell’aviazione; adattarsi ai cambiamenti climatici; sviluppare incentivi e regolamenti.

Gli obiettivi da raggiungere sono i seguenti: (1) emissioni di CO<sub>2</sub> ridotte del 75%, (2) emissioni di NO<sub>x</sub> ridotte del 90%; (3) rumore percepito del 65%

relativamente al 2000; (4) rullaggio dei velivoli senza emissioni; (5) Velivoli progettati per essere riciclabili; (6) centralità dell'Europa sull'energia sostenibile e i carburanti alternativi; (7) centralità dell'Europa sullo studio dell'atmosfera per essere da guida nella creazione di standard mondiali.

#### *Sfida #4 Garantire Safety e Security*

Rispondere alla domanda di prodotti e servizi nuovi e migliorati richiede un flusso continuo di innovazione. Ciò comporterà alti livelli di automazione, nuovi materiali, combustibili a propulsione pulita e fonti di informazione sempre più aperte e condivise. Tali sviluppi comportano nuove sfide e, se l'aviazione deve rimanere il modo di trasporto più sicuro, sono necessari cambiamenti. Gli obiettivi previsti sono: (1) nel complesso, il sistema europeo di trasporto aereo dovrà avere meno di un incidente per dieci milioni di voli commerciali; (2) le condizioni atmosferiche e gli altri pericoli derivanti dall'ambiente dovranno essere valutate con anticipo e precisione e i rischi dovranno essere adeguatamente attenuati; (3) il sistema europeo di trasporto aereo dovrà funzionare senza soluzione di continuità attraverso sistemi completamente interoperabili e collegati in rete che consentano ai veicoli con equipaggio e senza equipaggio di operare in sicurezza nello stesso spazio aereo; (4) passeggeri e merci passeranno attraverso i controlli di sicurezza senza interruzioni; (5) i velivoli, già in fase di progettazione, dovranno essere concepiti per essere resistenti alle minacce esterne; (6) il sistema di trasporto aereo disporrà di una rete globale completamente protetta di dati ad alta larghezza di banda, irrobustita e resiliente agli attacchi informatici.

#### *Sfida #5 Prioritizzare la Ricerca, la capacità di testing e la formazione*

L'aviazione è un settore ad alta tecnologia che combina esigenze straordinarie in materia di ricerca e innovazione con tempi di sviluppo e messa in opera lunghi. Le decisioni in materia di ricerca e sviluppo tecnologico possono avere conseguenze sul futuro del settore decenni dopo che sono state prese. Per mantenere la sua posizione di leader mondiale nel mercato globale dinamico, l'aviazione europea deve essere sostenuta da capacità e strutture di livello mondiale in ricerca, sviluppo, test e convalida, e dovrebbe fornire all'attuale e al futuro dipendenti del settore un'istruzione di alto livello che si adatta alle sue esigenze.

Gli obiettivi per questa sfida sono i seguenti: (1) le strategie europee di ricerca e innovazione devono essere definite congiuntamente da tutte le parti interessate, pubbliche e private, e attuate in modo coordinato con responsabilità individuale. Deve essere coperta l'intera catena di innovazione dalla ricerca alla dimostrazione e all'innovazione; (2) creazione di una rete di cluster

tecnologici multidisciplinari basati sulla collaborazione tra industria, università e istituti di ricerca; (3) identificazione, manutenzione e sviluppo di strutture strategiche per il testing, la simulazione e lo sviluppo. Integrazione di queste strutture; (4) gli studenti devono essere attratti verso carriere nel settore dell'aviazione. I corsi offerti dalle università europee devono corrispondere strettamente alle esigenze dell'industria aeronautica, dei suoi istituti di ricerca e delle sue amministrazioni e si deve evolvere continuamente, man mano che tali esigenze si sviluppano. L'educazione permanente e continua nell'aviazione deve essere la norma; (5) occorre prestare particolare attenzione alle aree in rapida evoluzione delle tecnologie dell'informazione, delle comunicazioni, dell'analisi dei Big Data, dell'internet delle cose e della sicurezza. Bisogna rimanere vigili sulle possibilità di sviluppi dirompenti e di passaggio. Inoltre, è importante guardare a modelli di business innovativi che siano in grado di sfruttare al meglio le nuove tecnologie.

### **3.2 Clean Sky e l'Aeronautica Sostenibile<sup>52</sup>**

La Clean Sky Joint Undertaking (CSJU) è un partenariato pubblico-privato tra la Commissione europea e l'industria aeronautica europea che coordina e finanzia attività di ricerca per offrire velivoli più silenziosi e rispettosi dell'ambiente. Il CSJU ha gestito il Clean Sky Programme (CS) e gestisce il Clean Sky 2 Programme (CS2) che è il più importante organismo di ricerca aeronautico in Europa.

L'impresa comune Clean Sky contribuisce in gran parte alla realizzazione dei seguenti obiettivi ambientali stabiliti dal Consiglio consultivo per la ricerca aeronautica in Europa:

- riduzione del 50% delle emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>),
- riduzione dell'80% delle emissioni di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>),
- riduzione del 50% del rumore per gli aerei in volo,
- limitato impatto ambientale del ciclo di vita degli aeromobili e dei prodotti correlati.

I membri fondatori di Clean Sky sono la Commissione Europea, 12 principali industrie aeronautiche europee, quali co-leader delle aree strategiche definite Dimostratori Tecnologici Integrati (ITD), 74 membri associati selezionati tramite un bando pubblico. La Commissione e i 12 leader degli ITD risultano responsabili per tutte le decisioni strategiche riguardanti il programma,

---

<sup>52</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

mentre i membri associati possono prendere parte ad uno o più degli ITD e, di conseguenza, partecipano soltanto ai processi decisionali relativi alle aree di interesse. Due società italiane, Alenia (oggi Leonardo Velivoli) e Agusta Westland (Leonardo Elicotteri) sono co-leader di 2 diversi ITD. Fra i 74 iscritti associati, provenienti da 16 nazioni diverse, ci sono ben 19 soggetti italiani sia pubblici che privati.

Il Consiglio di Amministrazione è il massimo organo decisionale della CS2JU. Esso è composto da rappresentanti dei Membri della Joint Undertaking ed in particolare n. 1 rappresentante dell'UE, n. 1 rappresentante per ciascuno dei 12 leader degli ITD e 6 rappresentanti scelti a rotazione fra i membri associati.

Il Direttore Esecutivo è il rappresentante legale, che risulta responsabile dell'operatività quotidiana dell'impresa comune, conformemente alle decisioni del Consiglio di Amministrazione e in linea con le disposizioni dello statuto. Il Direttore Esecutivo è supportato da tre dirigenti: due responsabili dei programmi operativi e il capo dell'amministrazione e delle finanze. Esso svolge un ruolo di coordinamento e agisce in base a quanto disposto dal Sistema di Qualità, inoltre, le interazioni risultano regolate principalmente dal Manuale di Gestione.

Sono poi presenti Comitati Direttivi per ciascun ITD: essi sono responsabile della guida dell'ITD definendo programmi di lavoro annuali e i contenuti dei bandi. I Comitati Direttivi valutano le proposte ricevute.

Il Comitato Scientifico è un organismo consultivo composto da un rappresentante di ciascun membro della JU e dei soggetti selezionati tramite i bandi lanciati dai singoli ITD. Esso viene consultato sui piani di lavoro, è in grado di fornire consulenza sulle proposte di invito e partecipa alle revisioni intermedie.

Il gruppo di rappresentanti degli Stati membri (State Representative Group - SRG) si presenta come organismo consultivo composto da un rappresentante di ciascuno Stato membro dell'U.E. e degli Stati Associati al Programma Quadro Horizon 2020. Esso elabora pareri sui progressi compiuti nel programma CS2 e verso il raggiungimento dei suoi obiettivi. Esso si occupa di: aggiornamenti di orientamento strategico; collegamenti a Horizon 2020; piani di lavoro; coinvolgimento delle PMI, monitoraggio degli inviti a presentare proposte. Fornisce inoltre informazioni e funge da interfaccia con l'impresa comune Clean Sky 2 sullo status di programmi di ricerca e innovazione pertinenti, nazionali o regionali, identifica potenziali aree di cooperazione, ad alto contenuto di tecnologie innovative in campo aeronautico; stabilisce misure specifiche da adottare a livello nazionale o regionale, in relazione a eventi di divulgazione, seminari tecnici dedicati e attività di comunicazione. Al fine

di garantire l'integrazione delle attività, il direttore esecutivo e il presidente del consiglio di amministrazione partecipano ogni anno ad almeno due riunioni dell'SRG e il presidente dell'SRG partecipa come osservatore alle riunioni del consiglio di direzione.

Il Consiglio di Amministrazione individua le aree strategiche in cui la ricerca e l'innovazione sono essenziali. Gli "inviti a presentare proposte" vengono lanciati in base alle esigenze evolutive del settore. Le piccole e medie imprese (PMI), i leader industriali, le università e le organizzazioni di ricerca possono rispondere agli inviti, mediante piani dettagliati per le attività di ricerca da intraprendere, predisponendo una descrizione dei finanziamenti necessari per sviluppare le nuove tecnologie.

Il programma Clean Sky 2 è finanziato congiuntamente dalla Commissione europea e dalle principali compagnie aeronautiche europee e prevede un contributo finanziario proveniente dall'UE, (relativo al budget del programma Horizon 2020) di 1,7755 miliardi di euro, integrato dai contributi dei membri privati, che conducono a un investimento totale pubblico e privato di circa 4 miliardi di euro.

Per garantire un'allocazione efficiente delle risorse, le domande vengono valutate da un gruppo di esperti esterni indipendenti, che promuovono le proposte con il miglior potenziale. Quelle vincitrici ricevono, quindi, i finanziamenti ed altri aiuti dalla CSJU.

Le aree strategiche, in cui la ricerca e l'innovazione sono essenziali, definite Dimostratori di Tecnologia Integrata (ITD), si suddividono in sette categorie, ovvero:

- Large Passenger Aircraft: aerei di grandi dimensioni, dedicati per lo più al trasporto passeggeri su distanze a corto, medio e lungo raggio. Questo ITD mira a sviluppare ulteriormente le tecnologie previste in CS, come l'integrazione dei sistemi di propulsione, innovazioni relative alla fusoliera e alla possibilità di realizzare cabine adatte al cosiddetto pilotaggio del futuro.
- Regional Aircraft: riguarda il mercato aeronautico regionale, che consenta una mobilità sicura e senza interruzioni, nel rispetto degli obblighi ambientali. Esso è costituito da aeromobili con una capienza compresa tra 20 e 130 posti, che percorrono rotte a corto e medio raggio. Alla fine del 2015 la flotta mondiale dell'aviazione regionale comprendeva circa 9000 unità (4350 turbopropulsori e 4650 aerei regionali) che rappresentano oltre il 33% della flotta commerciale mondiale e che effettuano oltre il 40% dei voli commerciali totali (e il 25% delle ore di volo totali). Nei prossimi 20 anni si prevede che il traffico aereo regio-

- nale triplicherà ad un tasso medio annuo del 6% (rispetto a un tasso del 5% nell'aviazione commerciale totale), generando un incremento della domanda, sul mercato, di circa 9000 nuovi aeromobili regionali (per un valore di mercato di circa € 360 miliardi di euro, con una media di € 18 miliardi di euro all'anno).
- Fast Rotorcraft IADP: si focalizza su tutte le tecnologie specificamente connesse con i velivoli ad ala rotante. Appartiene a questa categoria l'elicottero. La sfida nella progettazione di questo tipo di aeromobili consiste nel migliorare la capacità di sollevamento del carico utile, ridurre il consumo di carburante e aumentare l'autonomia del velivolo, alla pari degli obiettivi tradizionali previsti nella progettazione aeronautica. Allo stesso modo, particolare attenzione viene posta sulle emissioni e sul rumore, poiché, in questo caso, il disturbo derivante dal rumore prodotto, durante le fasi di decollo e atterraggio, costituisce un problema rilevante soprattutto in prossimità delle aree urbane.
  - Engines: si basano sul successo dell'ITD Sustainable and Green Engine (SAGE) – (Motori sostenibili e verdi) di Clean Sky. Riguarda nuove configurazioni di propulsori. Prevede la dimostrazione delle nuove tecnologie su diversi velivoli dimostratori e punta ad aumentare l'efficienza e diminuire l'impatto ambientale dei propulsori proponendo configurazioni innovative quali gli Open Rotor.
  - Systems: include i sistemi e gli impianti che svolgono un ruolo centrale nelle operazioni degli aeromobili, nell'ottimizzazione del volo e nella sicurezza del trasporto aereo, apportando vantaggi significativi in molte aree chiave: (Ambientale) fornendo un contributo diretto agli obiettivi ambientali, mediante traiettorie ecologiche ottimizzate o rullaggio elettrico, con conseguente riduzione delle emissioni di CO2 e del consumo di carburante; (Innovazione) consentendo lo sviluppo di motori innovativi o nuove configurazioni di aeromobili; (Ottimizzazione) portando nuovi livelli di efficienza nel sistema di trasporto aereo, migliorando le azioni di *greening* nel settore dell'aviazione e aumentando l'efficienza dell'ATS attraverso lo sviluppo e l'integrazione dei sistemi di bordo: (Richieste del mercato) rispondendo alle esigenze degli operatori aerei, che mirano a raggiungere prestazioni più elevate, cercando allo stesso tempo di ridurre peso e volume degli aeromobili; (Integrazione) mediante la simulazione dei sistemi e delle apparecchiature nei dimostratori IADP, al fine di consentire opportune valutazioni, sull'utilizzo di questi nuovi sistemi in condizioni realistiche di trasporto aereo; (Azioni trasversali) prevedendo uno scambio di informazioni con altri

progetti simili, al fine di raggiungere un adeguato livello di maturazione tecnologica nei processi produttivi, con un potenziale impatto sui vari sistemi, sia durante lo sviluppo che durante l'uso operativo.

- Small Air Transport (SAT): riguarda il trasporto aereo di piccole dimensioni. Esso si occupa di piccoli aeromobili dell'aviazione generale e delle loro esigenze tecnologiche. I SAT si definiscono come velivoli ad "ala fissa", che comprendono da 4 a 19 posti e hanno l'agilità di decollare e atterrare in piccoli aeroporti regionali.
- Eco-design (ED) – (progettazione ecocompatibile): Quest'ultimo si interessa dei problemi legati alla mitigazione dell'impatto ambientale, durante le varie fasi produttive: progettazione, costruzione, dimostrazione, sviluppo, test, certificazione, distribuzione sul mercato, fino alla fine con lo smaltimento, il ritiro e il riciclaggio degli aeromobili, cercando di ottimizzare i materiali e il consumo di energia, al fine di ottenere un modello economico sostenibile, i cui due elementi cardine sono Eco-design ed Economia Circolare.

A complemento degli ITD Dimostratori di Tecnologia Integrata è previsto il Technology Evaluator (TE – Valutatore Tecnologico). Una volta che le nuove tecnologie sono state sviluppate e integrate in un modello o in un aeromobile di prova, il TE valuta i miglioramenti ambientali prodotti, svolgendo attività di dimostrazione e test di volo, confrontando poi i risultati con aeromobili che non risultano dotati delle nuove tecnologie. Le differenze riscontrate nel risparmio di carburante, nel rumore emesso ecc. rappresentano la misura del successo della tecnologia. Il Technology Evaluator, dunque, aiuta a stabilire il valore di una nuova tecnologia sviluppata nell'ambito del programma Clean Sky 2. In particolare, fornisce informazioni aggiornate, monitora e valuta l'impatto generale dei risultati tecnologici derivanti dalle attività di Clean Sky 2. Nello specifico descrive l'impatto ambientale e sociale derivante dall'impiego delle nuove tecnologie, quantifica il miglioramento previsto delle emissioni complessive di rumore, gas a effetto serra e inquinanti atmosferici nell'ambito dell'aviazione, rispetto a quanto accadeva negli scenari passati.

### **3.3 SESAR e lo Spazio Aereo Unico<sup>53</sup>**

Come riportato nell'ATM Master Plan[255], lo scopo di SESAR è di supportare l'implementazione del Cielo Unico Europeo (Single European Sky -

---

<sup>53</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

SES) in modo da ottenere "un'aviazione maggiormente sostenibile e performante" entro il 2035, in accordo con gli obiettivi enunciati in [256].

Le iniziative di SESAR si fondano sul concetto di operazioni basate sulle traiettorie e sulla fornitura di servizi di navigazione (Air Navigation Services-ANS) a supporto dell'esecuzione delle attività di gestione del traffico aereo, al fine di ottenere un sistema ATM ad alte prestazioni.

Questa visione è abilitata da un progressivo aumento del livello dell'automazione, dall'implementazione di tecnologie di virtualizzazione e dall'uso di sistemi standardizzati e interoperabili. La graduale evoluzione dell'infrastruttura del sistema consentirà ai fornitori di servizi di navigazione aerea (Air Navigation Services Provider - ANSP), indipendentemente dai confini nazionali di collegare le loro operazioni dove necessario. Inoltre, gli aeroporti verranno completamente integrati nella rete di trasporto facilitando e ottimizzando le operazioni degli utenti dello spazio aereo.

Per sviluppare il futuro ATM europeo sarà necessario cambiare completamente il modo di pensare e gestire il traffico: si dovrà considerare lo spazio aereo come uno spazio condiviso in cui potranno operare diverse tipologie di velivoli i quali scambieranno informazioni e condivideranno gli stessi protocolli e regolamenti di base per tutta la durata della missione, anche al di fuori dei confini nazionali. Per questo motivo sarà necessario considerare la missione e il volo dell'aeromobile nel suo insieme e non in porzioni segmentate.

Il progetto che permetterà l'evoluzione del sistema ATM si articola in 4 fasi (vedi **Figura 21**). Tale progetto, iniziato nel 2015, terminerà presumibilmente nel 2050.

#### *Fase 1 Address known critical network performance deficiencies*

Questa fase vede l'adozione graduale di un'architettura orientata ai servizi (*Service Oriented Architecture - SOA*) come base per il sistema SWIM (*System Wide Information Management*). Per adottare la nuova architettura standardizzata sarà necessario migliorare la sicurezza informatica. Questa fase è già iniziata con la consegna di soluzioni mature da parte del programma SESAR 1 e l'implementazione del Pilot Common Project.

#### *Fase 2 Efficient services and infrastructure delivery*

Questa fase prevede lo sviluppo di standard aperti per il sistema ATM. Ciò consentirà l'ottimizzazione dei servizi di supporto, delle operazioni aeroportuali e delle attività di gestione del traffico aereo, consentendo il passaggio da infrastrutture fisiche a infrastrutture virtuali che sono caratterizzate dall'automazione e dalla digitalizzazione della gestione delle informazioni. Questa

fase dipende dall'implementazione delle attività di ricerca e sviluppo di SESAR 2020.

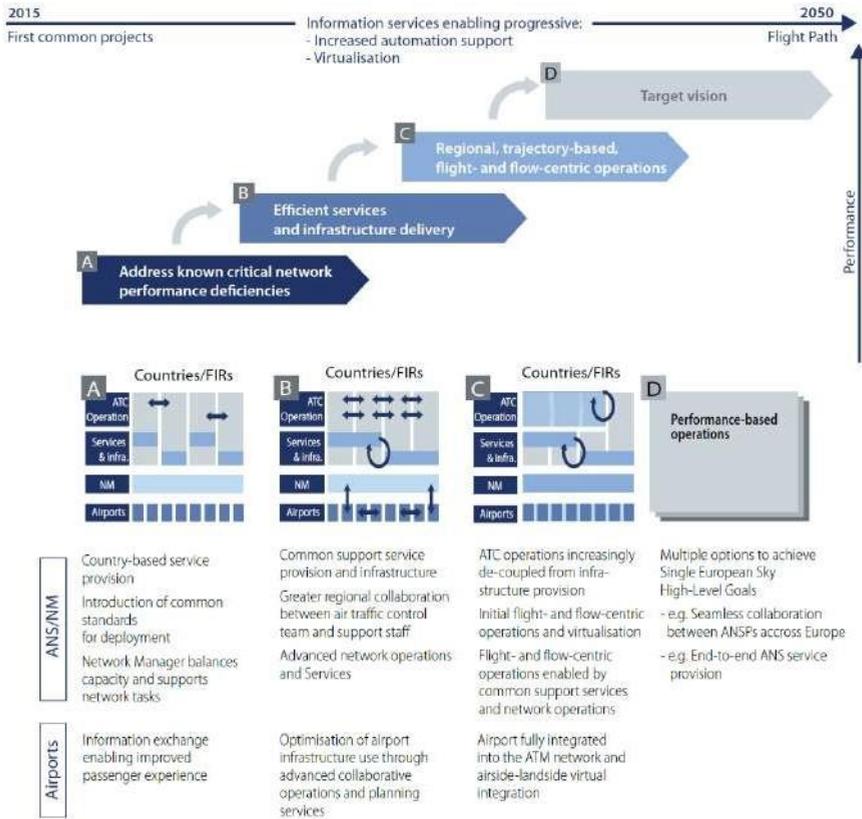


Figura 21 – Fasi per lo sviluppo dell'ATM Europea (Fonte European Commission [257]).

### Fase 3 Regional, trajectory-based, flight- and flow-centric operations

In questa fase, il sistema ATM migrerà verso maggiori livelli di automazione e utilizzerà sistemi standardizzati e interoperabili per consentire le operazioni basate "sulla traiettoria" all'interno di un contesto di rete. Ciò significa che gli aerei potranno seguire una loro traiettoria desiderata senza essere vincolati dalle configurazioni dello spazio aereo. L'attuazione di queste operazioni può essere graduale, e iniziare, quindi, a livello regionale o solo in alcune parti dello spazio aereo.

Lo sviluppo di ulteriori "servizi di supporto comuni" si tradurrà in un disaccoppiamento tra l'infrastruttura di sistema e le operazioni di controllo del traffico aereo, consentendo agli ANSP, a prescindere dai confini nazionali, di offrire i loro servizi dove sono necessari, fornendo servizi end-to-end. Questa fase vedrà la piena integrazione degli aeroporti nella rete ATM, il che a sua volta faciliterà le operazioni degli utenti, riducendone i costi. Anche l'esito di questa fase dipende dai risultati delle attività di ricerca e sviluppo di SESAR 2020.

#### *Fase 4 Target vision*

In questa fase si arriverà ad avere un approccio "Target Vision" per cui il sistema ATM è caratterizzato da un grado di automazione sempre più elevato. In questo contesto, possono essere previste più opzioni, come la perfetta collaborazione tra ANSP in tutta Europa e/o la fornitura di servizi ANS end-to-end. Andando oltre il 2035, le attività di ricerca e sviluppo si concentreranno sull'abilitazione di operazioni basate sulle prestazioni e sulla dimostrazione di come le soluzioni SESAR possono essere implementate in ambienti complessi. Le soluzioni delle attività di ricerca e sviluppo nell'ambito di SESAR 2020, contribuiranno a raggiungere gli obiettivi necessari per la graduale attuazione del "SESAR Target Concept".

Per ridefinire completamente il sistema ATM europeo, in linea con gli obiettivi del SES sarà necessario perseguire i seguenti obiettivi [258]:

1. Ridurre i costi per la fornitura dei servizi di navigazione aerea;
2. Migliorare l'efficienza operativa
3. Aumentare la capacità dello spazio aereo;
4. Aumentare la sicurezza (safety e security);
5. Aumentare l'eterogeneità dei velivoli operanti nello spazio aereo.

Le attività di ricerca e sviluppo nell'ambito di SESAR 2020 possono essere raggruppate in 4 macroaree (SESAR key areas).

#### *Area High-performing airport operations*

Il futuro sistema europeo di gestione del traffico aereo si basa sulla piena integrazione degli aeroporti all'interno di una rete globale europea. Gli aeroporti possono essere visti come i nodi di tale rete, in cui sarà indispensabile condividere informazioni e garantire un processo decisionale collaborativo sia in condizioni nominali di esercizio che in circostanze avverse per le quali dovranno essere attuate procedure cooperative di emergenza. Tali obiettivi richiedono un miglioramento delle operazioni aeroportuali, per migliorare la

gestione delle piste e la sicurezza. Le principali attività di ricerca e sviluppo in quest'ambito sono: Wake turbulence separation optimisation; Enhanced arrival procedures; Independent RC operations at the airport; Traffic optimisation on single and multiple runway airports; Traffic alerts for pilots for airport operations; Enhanced airport safety nets for controllers; Surface operations by RPAS; Enhanced guidance assistance to aircraft and vehicles on the airport surface combined with routing; Enhanced visual operations; Enhanced terminal area for efficient curved operations; Safety support tools for runway excursions; Enhanced runway conditions awareness; Remotely-provided ATS from a remote tower centre with a flexible allocation of aerodromes to remote tower modules (RTM); Improved access to secondary airports in LVC; Enhanced navigation and accuracy in LVC on the airport surface.

#### *Area Advanced air traffic services.*

Il futuro ATM europeo dovrà essere in grado di fornire servizi avanzati per il traffico aereo, per cui sarà indispensabile un ulteriore sviluppo dell'automazione, e l'introduzione di nuovi strumenti per supportare i controllori nelle attività di routine. Tali innovazioni si rifletteranno in un miglioramento della qualità dell'aria, in una più efficace programmazione e gestione dei voli, e nella pianificazione di "rotte libere" che permettono di massimizzare le prestazioni. Le attività di ricerca e sviluppo relative a questa macroarea sono: Flight and flow-centric ATC; Collaborative control; Improved performance in the provision of separation; Advanced separation management; IFR RPAS Integration. Enhanced rotorcraft and general aviation operation in the TMA; ad hoc delegation of separation to flight deck; Enhanced airborne collision avoidance for commercial air transport normal operations (ACAS Xa); Use of arrival and departure management information for traffic optimisation within the TMA; Generic (non-geographical) controller validations; Extended AMAN (Arrival MANager) with overlapping AMAN operations and interaction with DCB; Management of performance-based free routing in lower airspace; Enhanced ground-based safety nets adapted to future operations.

#### *Area Optimized ATM network services*

Il sistema ATM dovrà essere robusto a perturbazioni e disturbi non prevedibili. Tale robustezza può essere raggiunta utilizzando un meccanismo dinamico e collaborativo, che permetterà di condividere un piano comune (NOP), aggiornato, coerente e accurato che fornirà un riferimento a tutti gli attori della pianificazione e dell'esecuzione della gestione del traffico aereo. Il NOP sarà a livello locale integrato nei piani operativi aeroportuali (AOP-Airport Operations Plan),

e le informazioni e i dati saranno condivisi con l'intera rete. Le attività di ricerca e sviluppo attive in questo ambito sono presentate di seguito: Management of dynamic airspace configurations; Integrated local DCB (Demand and Capacity Balancing) processes; Network prediction and performance; Collaborative network management functions; Mission trajectory driven processes; Airspace user processes for trajectory definition and airspace user trajectory execution from flight operations centre (FOC); Airspace user fleet prioritisation and preferences.

#### *Area Enabling aviation infrastructure*

I miglioramenti sopra descritti saranno sostenuti da un'infrastruttura aeronautica avanzata, integrata e razionalizzata, che fornirà le capacità tecniche necessarie in modo efficiente sotto il profilo delle risorse. Questa caratteristica si baserà su una migliore integrazione e interfaccia tra i sistemi aeronautici e quelli di terra, compresi i sistemi di controllo del traffico aereo e i sistemi di gestione delle missioni militari. I sistemi di comunicazione, navigazione e sorveglianza, il sistema SWIM, la gestione delle traiettorie, i servizi comuni di supporto e l'evoluzione del ruolo dell'uomo saranno considerati in modo coordinato per l'applicazione attraverso il sistema ATM in un modo globalmente interoperabile e armonizzato. Le attività di ricerca e sviluppo relative a questa macroarea sono: Integration of trajectory management processes in planning and execution; Performance-based trajectory prediction; Management and sharing of data used in trajectory (AIM, METEO). SWIM-TI purple profile for air/ground (A/G) advisory information sharing; SWIM-TI purple profile for A/G safety-critical information sharing. SWIM-TI green profile for ground/ground (G-G) civil-military information sharing; Airborne detect and avoid (D&A) systems supporting integrated RPAS. CNS environment evolution, CNS avionics integration, CNS ground segment integration.

### **3.4 Programma Nazionale di Ricerche Aerospaziale<sup>54</sup>**

Nel 1998, il Programma nazionale di ricerche aerospaziali (PRORA) prevedeva [259], in aderenza all'evoluzione scientifica, tecnologica ed economica dei settori aeronautico e spaziale e in coerenza con i relativi piani nazionali, azioni su: ricerca, sperimentazione, produzione e scambio di informazioni, formazione del personale da realizzarsi anche attraverso la partecipazione a programmi di ricerca europei e internazionali; realizzazione e gestione di opere e impianti funzionali alle attività di cui al punto precedente.

---

<sup>54</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

L'attuazione del Programma era affidata al Centro Italiano Ricerche Aerospaziali S.p.A., CIRA per promuovere e sostenere le attività del PRORA in un quadro di sviluppo del settore aeronautico e spaziale, con riferimento anche alla realizzazione delle infrastrutture e dei servizi di supporto, prevede la stipula di un apposito accordo di programma principalmente tra l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), il CIRA, la regione Campania e il Miur con durata quinquennale.

Il più recente Programma nazionale per la Ricerca (PNR) 2015-2020 vede tra le sue tematiche principali di nuovo l'Aerospazio. Dopo un'analisi del contesto della ricerca, il documento PNR 2015-2020 [260] identifica delle aree di specializzazione prioritarie e sulla base dell'analisi delle criticità e dei punti di forza del nostro sistema della ricerca vengono definiti sei programmi di intervento, ciascuno dei quali è strutturato con obiettivi precisi, azioni di intervento e risorse dedicate.

Il primo obiettivo è l'Internazionalizzazione, il coordinamento e l'integrazione delle iniziative nazionali con quelle europee e globali. Il peso crescente delle risorse europee rispetto a quelle nazionali e in ultima analisi di quelle ad accesso competitivo rispetto a quelle ordinarie, hanno imposto un ribaltamento di paradigma nelle attività di programmazione nazionale. Per questo il PNR integra organicamente la programmazione e le risorse dello Stato con le risorse Europee, in particolare le Politiche di Coesione e quelle del Programma Quadro per la Ricerca e l'Innovazione 2014-2020 denominato Horizon 2020, e allinea ciascuno dei Programmi del PNR a criteri e strumenti concordati a livello europeo, contribuendo inoltre a preparare attori e risultati della ricerca italiani al confronto internazionale.

Il secondo obiettivo è dare centralità all'investimento nel capitale umano: il PNR mette al centro della strategia le persone della ricerca pubblica e privata, con l'obiettivo di formare, potenziare, incrementare il numero di ricercatori, creando un contesto e delle opportunità in grado di stimolare i migliori talenti e renderli protagonisti della produzione e del trasferimento di conoscenza alla società nel suo complesso.

Il terzo obiettivo è quello di dare un sostegno selettivo alle infrastrutture di ricerca: il PNR pone grande attenzione alle infrastrutture di ricerca, pilastro fondamentale della ricerca italiana e internazionale, in particolare della ricerca di base. Il PNR definisce e avvia per la prima volta il processo di valutazione delle Infrastrutture, allineandolo ai criteri e ai meccanismi europei dell'European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI).

Il quarto obiettivo è la collaborazione pubblico-privato, qui intesa come leva strutturale per la ricerca e l'innovazione: in tale ambito, i Cluster Tecnologici Nazionali, costituiti coerentemente con le aree di specializzazione della ricerca applicata, sono riconosciuti come infrastrutture permanenti per il

dialogo tra università, enti pubblici di ricerca e imprese e tra centro e territori. Con questo Programma, il PNR riconosce inoltre come prioritario l'ingaggio con la società attraverso il sostegno dell'innovazione sociale, della filantropia per la ricerca, e di azioni di comunicazione e informazione costante e trasparente sul ruolo della ricerca.

Il quinto obiettivo è il Mezzogiorno: vengono poste in essere azioni prioritarie per il sostegno alla ricerca e innovazione in quest'area del Paese, ponendo in sinergia Programma Operativo Nazionale, Programmi Operativi Regionali e risorse ordinarie.

Il sesto obiettivo, in realtà propedeutico a tutti gli altri, è quello dell'efficienza e qualità della spesa, attraverso la definizione e il rafforzamento di processi di valutazione, monitoraggio, trasparenza, semplificazione e rafforzamento amministrativo. Un tema apparentemente secondario, ma divenuto di sostanziale rilevanza per garantire credibilità efficacia e tempismo agli investimenti pubblici a sostegno della ricerca e dell'innovazione.

### **3.5 Il CIRA e gli altri Centri di Ricerca Aerospaziale in Europa<sup>55</sup>**

Il CIRA, Centro Italiano Ricerche Aerospaziali, che ha sede e strutture operative a Capua, è una società a prevalente partecipazione pubblica costituita nel 1984 per svolgere attività di ricerca nelle discipline aeronautiche e spaziali [261]. La presenza, nella compagine societaria, di enti come l'Agenzia Spaziale Italiana (socio di riferimento) e il Consiglio Nazionale delle Ricerche, della Regione Campania (attraverso l'Area di Sviluppo Industriale di Caserta) e di industrie e PMI del settore aerospaziale fa sì che gli obiettivi del CIRA siano coerenti con gli indirizzi strategici nazionali e con le esigenze delle imprese, contribuendo così allo sviluppo economico e sociale del Paese.

Oggi, a poco più di trent'anni dalla sua nascita, il CIRA possiede la più grande dotazione di infrastrutture di ricerca in campo aerospaziale presente in Italia con impianti di prova unici al mondo e laboratori all'avanguardia utilizzati da enti e industrie nazionali ed internazionali.

Le attività svolte riguardano diverse tematiche della ricerca aerospaziale: dallo studio di velivoli aeronautici e spaziali in grado di volare in modo autonomo e a velocità elevatissime, alla messa a punto di sistemi innovativi per ridurre l'impatto ambientale dei velivoli, aumentare la sicurezza del volo, rendere più efficiente la gestione del traffico aereo fino allo sviluppo di tecnologie abilitanti per i futuri sistemi di trasporto spaziale.

---

<sup>55</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

Al CIRA lavorano attualmente circa 400 persone, la maggior parte delle quali impegnate in attività di ricerca e sviluppo scientifico e tecnologico.

Le attività del Settore Aeronautica sono articolate in diverse linee di ricerca: Velivoli ad Ala Fissa e Rotante, Aeromobili a Pilotaggio Remoto e Autonomi, Propulsori, Sistemi di Bordo, Sostenibilità, Affidabilità e Sicurezza.

In questo settore il CIRA è impegnato a presidiare e sviluppare una serie di filoni tecnologici che coinvolgono, in maniera multidisciplinare, diverse aree tematiche quali l'aerodinamica, la propulsione, i materiali avanzati, le strutture, l'avionica, così come nell'integrazione di tali tecnologie in dimostratori e piattaforme volanti.

Le linee strategiche dei Velivoli ad Ala Fissa e Rotante sono orientate a dotare il CIRA di strumenti di progettazione e prova efficienti e allo stato dell'arte, oltre che di sistemi di analisi multidisciplinare. Ciò al fine di valutare gli impatti tecnologici delle soluzioni individuate e delineare il contesto di ricerca e sviluppo.

Lo scenario dell'aviazione europea, tracciato dagli esperti dalla Commissione Europea [250], si caratterizza per la coesistenza, negli spazi aerei non segregati e negli aeroporti, di velivoli da trasporto e di Velivoli a Pilotaggio Remoto (RPAS) e Autonomi. Le attuali linee di sviluppo, al CIRA, sono coerenti con tale scenario europeo e comprendono tecnologie sia abilitanti il volo non pilotato, (Gestione automatica del piano di volo, Failure Detection and Management, Detect & Avoid, Automatic Take-Off and Landing), sia evolutive come le aero-strutture (Health Monitoring) e i sistemi ausiliari di bordo (anti-icing/de-icing, diagnostica e prognostica).

Sui Sistemi Avionici per velivoli UAS il CIRA si sta adoperando per rendere possibili vari scenari operativi, a livelli di autonomia crescente, quali la gestione "pilot-in-the-loop" di RPAS nello spazio aereo controllato, la gestione "autonoma" di RPAS ad alta efficienza operativa, la gestione "autonoma e cooperativa" di una flotta di RPAS ad alta efficienza operativa.

Nell'ambito dei Propulsori, le attività principali riguardano lo sviluppo di sistemi propulsivi efficienti & green (inclusi quelli ibridi termici/elettrici, gli elettrici e i diesel), nonché quello di sistemi propulsivi concettualmente innovativi e ultra-efficienti.

Nel campo della Sostenibilità, Affidabilità e Sicurezza, infine, il CIRA è impegnato nello sviluppo sostenibile del Sistema di Trasporto Aereo (ATS), nell'Integrity Engineering, nell'impiego di sistemi autonomi in missioni difficili, nella protezione delle infrastrutture critiche.

Le attività del Settore Spazio si articolano in Sistemi per l'Accesso allo Spazio, Satelliti e Sistemi per l'Esplorazione, Propulsori spaziali, Sistemi di bordo, Sostenibilità, Affidabilità e sicurezza.

I Sistemi per l'Accesso allo spazio e l'Esplorazione, al CIRA, puntano ad accrescere e consolidare le competenze su sistemi e tecnologie spaziali sia per missioni di accesso, rientro ed operatività in orbita LEO che per le esplorazioni interplanetarie verso Luna e Marte.

Per quanto riguarda i Propulsori, l'Europa gioca un ruolo importante nel settore dei lanciatori e l'Italia, a sua volta, ha un ruolo significativo nello sviluppo dei piccoli lanciatori, come il VEGA. Nell'ambito del programma di sviluppo di questo lanciatore (per satelliti fino a 1.500 kg in orbita LEO), il CIRA è impegnato su alcuni dei driver tecnologici.

Con il programma HYPROB (finanziato dal MIUR), inoltre, punta a diventare una struttura di eccellenza a livello europeo nel campo della propulsione, attraverso la formazione di personale altamente qualificato e la crescita di capacità tecnologiche avanzate.

Il CIRA è poi impegnato nello sviluppo e validazione di tecnologie abilitanti, indirizzate ai Sistemi GNC autonomi in missioni di rientro e lancio e ai Sistemi di controllo cooperativo dedicati a mini e micro-satelliti. Tali tecnologie, relative ai Sistemi di Bordo, sono in fase di ulteriore sviluppo al fine di garantire livelli di precisione operativa non convenzionali, tempi di reazione compatibili con le alte energie e con le velocità in gioco, livelli di autonomia, nell'autodiagnosi e nella gestione, compatibili con la limitatissima (se non nulla) interazione uomo-macchina.

Le attività del Settore Ambiente si articolano in Tecnologie per il monitoraggio dell'ambiente e del territorio e Safety e Security delle infrastrutture critiche. Diverse tecnologie sviluppate nel settore aerospaziale per l'osservazione della terra, possono essere utilizzate per migliorare la gestione e il controllo del territorio, la tutela dell'ambiente, nonché la salvaguardia dei beni culturali. Attualmente i Sistemi di monitoraggio prevedono l'utilizzo di sistemi UAS di classe small, in collegamento con piattaforme satellitari. In futuro è prevista l'integrazione di dati provenienti da piattaforme aeree classiche (aerei, elicotteri) e, entro il prossimo quinquennio, da piattaforme stratosferiche. Un paradigma di interoperabilità tra queste piattaforme è in fase di sviluppo.

È, inoltre, in via di completamento la messa in funzione di una facility sperimentale che avrà come obiettivo principale il supporto allo sviluppo dei tool previsionali. La disponibilità di molteplici osservazioni apre, infatti, la strada allo sviluppo di una nuova categoria di modelli previsionali, su diverse scale temporali e spaziali, deputati ad effettuare previsioni nell'ambito del nowcasting.

Con questi tool previsionali innovativi è possibile fornire strumenti state-of-the-art per la riduzione dell'incertezza nei processi decisionali che, nel

panorama mondiale sulla Sostenibilità, affidabilità e sicurezza dei Sistemi per il monitoraggio, costituisce un tema di rilevante interesse.

Infine, il previsto impiego di robot o sistemi unmanned monitorati da remoto in missioni Dull, Dirty and Dangerous consentirà di raggiungere gli obiettivi legati all'esplorazione e al monitoraggio riducendone i rischi e i costi operativi.

Tra gli impianti tecnologici di maggior rilievo il CIRA dispone di due impianti ipersonici arc-jet, SCIROCCO e GHIBLI, per la simulazione al suolo delle condizioni aerotermodinamiche sui Sistemi di Protezione Termica e Payload di veicoli spaziali durante la fase di rientro ipersonico; di una galleria del vento PT1, l'unica galleria del vento transonica/supersonica operativa in Italia ed appartiene ad una classe di impianti che, per le loro dimensioni, sono impiegati principalmente nella ricerca di base ed applicata; L'Icing wind Tunnel è un impianto per prove in ghiaccio e aerodinamiche. Unico al mondo per dimensioni e inviluppo operativo; Laboratorio per prove di impatto di strutture aerospaziali LISA è un impianto per l'esecuzione di prove di impatto al suolo di strutture aeronautiche e spaziali a grandezza naturale, fino ad un peso di 20 tonnellate, verifica l'efficacia dei sistemi di protezione dei passeggeri in caso di incidente o atterraggio d'emergenza.

Per poter correttamente inquadrare il CIRA nel contesto dei Centri di Ricerca Aerospaziali in Europa.

### 3.6 NLR - Olanda<sup>56</sup>

Il Royal Netherlands Aerospace Centre (Royal NLR) è uno dei principali istituti tecnologici dei Paesi Bassi [171]. Questi istituti svolgono gran parte della ricerca applicata, ciascuno all'interno del proprio campo specifico della tecnologia. In qualità di organizzazione indipendente, senza scopo di lucro, NLR svolge ricerche e sviluppa tecnologie nel campo dell'aviazione e dei viaggi spaziali.

Il lavoro nell'ambito di contratti di ricerca (nazionali e internazionali, governativi e industriali) ammonta al 75% delle attività, il restante 25% è finanziato dal governo olandese per programmi di ricerca orientati alla ricerca di base e allo sviluppo degli impianti tecnologici.

NLR fu fondata nel 1919 come RSL e la sede principale è ad Amsterdam.

Ha circa 650 dipendenti e tre divisioni:

1. Aerospace Systems (AS). La divisione AS identifica e sviluppa tecnologie e conoscenze necessarie allo sviluppo di sistemi di trasporto aereo-

---

<sup>56</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

spaziali innovativi. Particolare attenzione è posta sul miglioramento dell'efficacia e dell'efficienza dell'aviazione militare olandese e sul comparto materiali e sistemi.

2. Air Transport (AT). La divisione AT si concentra sullo sviluppo di tecnologie e metodologie per un utilizzo sicuro, efficiente e socialmente accettabile degli aeromobili, dello spazio aereo e dello sfruttamento aeroportuale. NLR ha aperto il NLR Air Transport Safety Institute (NLR-ATSI) il 31 ottobre 2007. Questo istituto conduce ricerche per migliorare la sicurezza e l'efficienza del trasporto aereo.
3. Aerospace Vehicles (AV) La divisione AV si occupa di progettazione, certificazione, sviluppo, utilizzo e manutenzione di veicoli aerospaziali. Sostiene la politica dei viaggi aerei/spaziali, la politica di difesa e la politica economica del governo e rafforza la posizione competitiva dell'industria aeronautica dei Paesi Bassi.

Oltre due terzi del personale dell'NLR è laureato, con una grande varietà di competenze (ingegneri aerospaziali, psicologi, matematici e fisici).

Nei suoi due siti NLR possiede diversi laboratori tra cui diverse gallerie del vento: Low Speed Wind Tunnel, Transonic and Supersonic Wind Tunnel. Lo sfruttamento di queste gallerie del vento e delle gallerie del vento del DLR sono stati affidati alla fondazione gallerie del vento tedesco-olandese (DNW), che comprende anche una grande struttura nel Noordoostpolder in cui Germania e Paesi Bassi hanno una quota del 50% ciascuno [262].

NLR ha poi una piattaforma volante, un Cessna Citation II (PH-LAB), quest'ultimo è condiviso con la Delft University of Technology (TU Delft). Ha sviluppato diversi simulatori di volo per la ricerca su aerei ed elicotteri. Conduce ricerche sui concetti futuri in Air Traffic Management (ATM) e Air Traffic Control (ATC) utilizzando la sua piattaforma di simulazione proprietaria avanzata, il NLR ATC Research Simulator (NARSIM). NARSIM è costituito da due istanze fisiche, una per ATC en-route (NARSIM-Radar) e una per i controllori di torre aeroportuale (NARSIM-Tower) con un sistema visivo field-of-view a 360 gradi. NARSIM viene utilizzato anche per l'esecuzione di attività di verifica e convalida della tecnologia, nonché per l'addestramento del controllore del traffico aereo.

Il centro dispone di impianti in cui è possibile testare le costruzioni di aerei su larga scala, i componenti e i campioni di prova. Sono inoltre disponibili attrezzature e software per lo sviluppo di parti per aerei e veicoli spaziali. Per lo sviluppo e la costruzione di compositi è stato organizzato un laboratorio speciale. Inoltre, la NLR dispone di strumenti per test di volo e di diversi apparecchi specializzati

per lo sviluppo di avionica, per il testing di antenne e test di compatibilità elettromagnetica. La rete informatica del NLR è fornita di un supercomputer per l'attuazione di gravosi calcoli aerodinamici e strutturali.

 <p><b>HOCHDRUCKWINDKANAL GÖTTINGEN</b> HDG Göttingen, Germany A closed circuit, pressurized, continuous low-speed wind tunnel with closed-wall test sections.</p>	 <p><b>HIGH-SPEED TUNNEL</b> HST The Netherlands A closed circuit, variable density, continuous transonic wind tunnel with slotted top and bottom test section walls.</p>
 <p><b>SUPERSONIC BLOW-DOWN TUNNEL</b> SST Amsterdam, The Netherlands</p>	 <p><b>KRYO-KANAL KÖLN</b> KKK Köln, Germany A closed circuit, continuous, low speed wind tunnel with a closed wall test section.</p>
 <p><b>KRYO-ROHRWINDKANAL GÖTTINGEN</b> KRG Göttingen, Germany An intermittent, blow-down wind tunnel of the Ludwieg tube concept, pressurized by vaporized liquid nitrogen.</p>	 <p><b>LOW-SPEED TUNNEL</b> LST Marknesse, The Netherlands A continuous, atmospheric, low-speed wind tunnel with exchangeable test sections.</p>

Figura 22 – Elenco delle Gallerie del vento in dotazione del DNW 1-6.

 <p><b>NIEDERGESCHWINDIGKEITS-WINDKANAL BRAUNSCHWEIG</b> NWB Braunschweig, Germany A continuous, atmospheric, low-speed wind tunnel with optionally a closed or a slotted test section with an open jet.</p>	 <p><b>ROHRWINDKANAL GÖTTINGEN</b> RWG Göttingen, Germany An intermittent, blow-down wind tunnel of the Ludwieg tube concept.</p>
 <p><b>TRANSSONISCHER WINDKANAL GÖTTINGEN</b> TWG Göttingen, Germany A closed circuit, variable density, continuous, sub-, transonic and supersonic wind tunnel with three exchangeable test sections.</p>	 <p><b>ENGINE CALIBRATION FACILITY</b> ECF Marknesse, The Netherlands</p>
 <p><b>LARGE LOW-SPEED FACILITY</b> LLF Marknesse, The Netherlands A closed circuit, atmospheric, continuous low-speed wind tunnel with three closed-wall exchangeable test sections and an open jet.</p>	

Figura 23 – Elenco delle Gallerie del vento in dotazione del DNW 7-11.

### 3.7 DLR - Germania<sup>57</sup>

Il Centro Aerospaziale Tedesco DLR (Deutsches für Luft- und Raumfahrt) è il centro nazionale per la ricerca aerospaziale, energetica e dei trasporti della Germania. Il suo quartier generale si trova a Colonia e ha molte altre sedi in tutta la Germania [263].

Il DLR è impegnato in una vasta gamma di progetti di ricerca e sviluppo in partenariati nazionali e internazionali. Oltre a condurre i propri progetti di ricerca, DLR agisce anche come agenzia spaziale tedesca. In quanto tale, è responsabile della pianificazione e dell'attuazione del programma spaziale tedesco per conto del governo federale tedesco. In qualità di agenzia di gestione dei progetti, DLR coordina e risponde anche all'attuazione tecnica e organizzativa di progetti finanziati da un certo numero di ministeri federali tedeschi.

DLR ha circa 8.200 dipendenti in 20 sedi in Germania. I suoi istituti e strutture sono distribuiti su 13 siti. Ha uffici a Bruxelles, Parigi e Washington D.C.

DLR ha un budget di 1.001 miliardi di euro per coprire la propria ricerca, sviluppo e operazioni. Circa il 49% di questa somma proviene da fondi di terzi stanziati in modo competitivo. Inoltre, DLR gestisce circa 860 milioni di euro di fondi tedeschi per l'Agenzia spaziale europea (ESA). In qualità di agenzia di gestione dei progetti, gestisce 1.279 miliardi di euro di ricerca per conto dei ministeri federali tedeschi. DLR è membro a pieno titolo del Comitato consultivo per i sistemi di dati spaziali (CCSDS) e membro dell'Associazione Helmholtz dei centri di ricerca tedeschi.

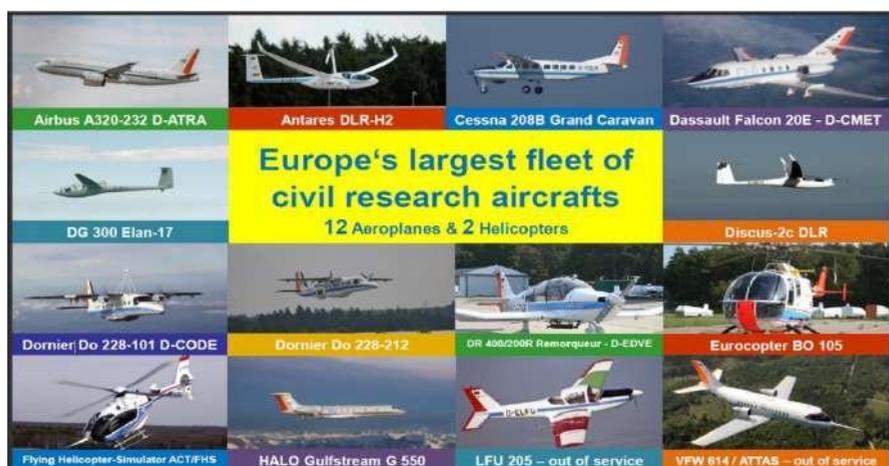


Figura 24 – Piattoforme volanti in dotazione al DLR (anno 2017).

<sup>57</sup> Università degli Studi della Campania “L. Vanvitelli”.

Nell'ambito delle iniziative di DLR per la promozione dei giovani talenti della ricerca, sono stati istituiti dieci laboratori scolastici DLR presso la Technische Universität Darmstadt, la Technische Universität Amburgo-Harburg, rWTH Aachen, la Technische Universität Dresden e a Berlino-Adlershof, Braunschweig, Brema, Colonia-Porz, Dortmund, Gottinga, Lampoldshausen/Stoccarda, Neustrelitz e Oberpfaffenhofen negli ultimi anni.

### 3.8 ONERA - Francia<sup>58</sup>

L'Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques (ONERA) è il centro nazionale di ricerca aerospaziale francese. Si tratta di un'istituzione pubblica con attività industriali e commerciali che svolge ricerche orientate alle applicazioni per sostenere una maggiore innovazione e competitività [264].

ONERA è stato creato nel 1946 come Ufficio Nazionale per gli Studi e la Ricerca Aeronautica. Dal 1963, il suo nome ufficiale è stato "Ufficio Nazionale di Studi e Ricerche Aerospaziali". Tuttavia, nel gennaio 2007, ONERA è stata soprannominata "The French Aerospace Lab" per migliorare la sua visibilità internazionale.

A differenza della NASA negli Stati Uniti, ONERA non è un'agenzia per la scienza spaziale e l'esplorazione. Tuttavia, svolge un'ampia gamma di ricerche per le agenzie spaziali, sia per CNES in Francia che per l'Agenzia spaziale europea (ESA), nonché per l'agenzia di difesa francese DGA (Direction générale de l'armement). ONERA conduce anche in modo indipendente la propria ricerca a lungo termine per anticipare le future esigenze tecnologiche. Si concentra sulla ricerca scientifica, ad esempio sull'aerodinamica applicata ai velivoli, sulla progettazione di lanciatori e nuove tecnologie di difesa, come droni o sistemi aerei senza equipaggio (UAS).

ONERA utilizza anche le sue capacità di ricerca e innovazione per sostenere sia l'industria francese che quella europea. ONERA ha infatti contribuito a una serie di importanti programmi industriali aerospaziali e di difesa negli ultimi decenni, tra cui Airbus, Ariane, Rafale, Falcon, Mirage e Concorde.

Il Presidente e CEO di ONERA è nominato dal Consiglio dei ministri francese, agendo su proposta del Ministro della Difesa.

ONERA è organizzato in otto aree geografiche. Ha circa 2.000 dipendenti, con 1.500 tra ingegneri e altri ricercatori (tra cui 230 dottori).

Tre centri nella grande area di Parigi (Ile-de-France): Palaiseau, sede attuale; Châtillon; Meudon.

---

<sup>58</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

Due centri nella regione dei Midi-Pyrenees, nel sud-ovest della Francia: Tolosa, vicino alle principali scuole di ingegneria aeronautica ISAE-Sup'Aero e ENAC; Fauga-Mauzac, a sud di Tolosa.

Altri tre centri in Francia: Lille, Francia settentrionale (ex Lille Fluid Mechanics Institute); Salon de-Provence, Francia meridionale, sul sito della scuola di volo Ecole de l'air; Modane-Avrieux, nella regione savoia del sud-est della Francia.

ONERA è organizzato in quattro rami scientifici: Fluid Mechanics ed Energetics; Materiali e strutture; Fisica; Elaborazione delle informazioni e sistemi.

Il bilancio si aggira sui 230 milioni di euro annui.

Anche per ONERA, come per DLR, le attività del Centro sono talmente vaste e omnicomprensive che, ai fini di questo rapporto è apparso superfluo descriverle.

### 3.9 INTA - Spagna<sup>59</sup>

L'Istituto Nazionale di Tecnologia Aerospaziale (INTA) è l'agenzia aerospaziale spagnola. È stata fondata nel 1942, come Istituto Nazionale di Aeronautica, e ha la sua sede a Torrejòn de Ardoz, vicino a Madrid [265].

Il bilancio annuale è stato di 190 milioni di euro nel 2019 e il finanziamento proviene dal Ministero della Difesa spagnolo e dai propri progetti con l'industria.

Dal 2017 INTA ha un totale di circa 1500 dipendenti.

Le sue due principali aree di attività sono nella ricerca e sviluppo (ad esempio, nella propulsione, nei materiali, nel telerilevamento) e nella certificazione e test (ad esempio, in aeromobili, software, metrologia).

Tra i programmi di rilievo è presente un programma di ricerca sui nanosatelliti e mini-satelliti.

I programmi di R&S nel campo dei piccoli satelliti da 20 kg a 150 kg sono iniziati nel 1997 dopo il lancio di MiniSat-1. L'INTA ha sviluppato diversi sistemi in con università e altre istituzioni spagnole.

In particolare, ha sviluppato moduli di servizio multimissione compatibili con i lanciatori disponibili con peso di 150 kg e ingombro 60x60x80cm.

INTA lanciò il suo primo satellite, l'Intasat, nel 1974, a bordo di un razzo Delta della NASA. LBSAT fu stato lanciato su Ariane 4 nel 1995. Minisat 01, con i suoi 190 kg, e fu lanciato a bordo di un razzo Pegasus sulle Isole Canarie nel 1997.

Il progetto NanoSat 01 fu creato per continuare con il programma spaziale spagnolo di satelliti a basso costo. Fu messo in orbita con l'Ariane 5 nel dicembre 2004. Nanosat 1B fu invece lanciato 5 anni dopo a bordo di un Dnepr.

---

<sup>59</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

Da allora sono stati lanciati satelliti di più piccole dimensioni totalmente spagnoli nella produzione e progettazione, che fanno uso di una piattaforma multiuso a basso costo, con sottosistemi di progettazione modulari e interfacce standard con il modulo payload.

Dal sito di lancio per razzi-sonda di El Arenosillo (Provincia di Huelva) ha lanciato diversi razzi suborbitali, tra cui l'INTA-300 e l'INTA-255. Tra il 1991 e il 1999 ha sviluppato il lanciatore Capricornio, che tuttavia non venne mai utilizzato.

Dal punto di vista velivolistico INTA ha in servizio dal 2006 il SIVA (*Integrated Air Surveillance System*) che è costituito da un UAV e una stazione di controllo a terra. Diana è un bersaglio UAV-aereo ad alta velocità. ALO (*Light Observation Aircraft*) è un sistema UAV leggero che fornisce informazioni in tempo reale sulle missioni di ricognizione, sorveglianza e rilevazione degli obiettivi. Il sistema ALO è costituito da tre aerei dotati di sensori visibili o infrarossi, un'unità di controllo mobile e un sistema di lancio nella configurazione senza carrello di atterraggio. ALO UAV è in servizio in attesa di commercializzazione. L'INTA HADA (*Adaptive Helicopter Aircraft*) era un aereo ibrido e senza pilota sviluppato in Spagna, adatto per il decollo verticale e vola orizzontalmente cambiando la sua morfologia, dispiegando le ali a metà volo per diventare un aereo. Il programma è stato sospeso nel 2014. L'INTA Milano è un MALE (*Medium-altitude long-endurance*) unmanned aerial vehicle.

### 3.10 Agenzia Spaziale Europea (ESA)<sup>60</sup>

L'Agenzia spaziale europea, nota internazionalmente con l'acronimo ESA dalla denominazione inglese *European Space Agency*, è un'agenzia internazionale fondata nel 1975, incaricata di coordinare i progetti spaziali di 22 Paesi europei. Il suo quartier generale si trova a Parigi in Francia, con uffici a Mosca, Bruxelles, Washington e Houston. Il personale dell'ESA del 2019 ammonta a circa 2200 persone (esclusi sub-appaltatori e le agenzie nazionali) e il budget è di 5,72 miliardi di euro [266]. Attualmente il direttore generale dell'agenzia è Johann-Dietrich Woerner.

Lo spaziorporto dell'ESA è il Centre Spatial Guyanais a Kourou [267] nella Guyana francese, sito scelto come base di lancio, per via della sua vicinanza con l'equatore. Durante gli ultimi anni il lanciatore Ariane 5 ha consentito all'ESA di raggiungere una posizione di primo piano nei lanci commerciali e l'ESA è il principale concorrente della NASA nell'esplorazione spaziale.

---

<sup>60</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Le missioni scientifiche dell'ESA hanno le loro basi all'ESTEC di Noordwijk, nei Paesi Bassi [268]. Lo European Space Operations Centre (ESOC), di Darmstadt in Germania [269], è responsabile del controllo dei satelliti ESA in orbita. Le funzioni dello European Space Research Institute (ESRIN) di Frascati [270], in Italia, includono la raccolta, l'archiviazione e la distribuzione di dati satellitari ai partner dell'ESA; oltre a ciò, la struttura agisce come centro di informazione tecnologica per l'intera agenzia. Lo European Astronaut Centre (EAC) è situato a Colonia [271], in Germania, ed è un centro per la selezione, l'addestramento, il supporto medico degli astronauti, oltre al supporto per le preparazioni al lancio e durante le missioni. Infine, lo European Space Astronomy Centre (ESAC) [272], situato a Villanueva de la Cañada, è il centro ESA per la ricerca astronomica.



**Figura 25** – Stati Membri dell'ESA (in blu) – gli altri stati evidenziati hanno accordi di collaborazione.

Nei prossimi anni probabilmente si uniranno all'ESA altri paesi, specialmente quelli che hanno fatto parte dell'allargamento dell'Unione Europea del 2004. In aggiunta, l'ESA ha diversi accordi con paesi non membri.

La Slovenia e la Lettonia hanno firmato un accordo per il Plan for European Cooperating State (PECS). Questo accordo serve a preparare i futuri membri all'inserimento effettivo e consente alle industrie di questi stati di competere per le commesse dell'ESA. Questi paesi possono partecipare a

quasi tutti i programmi di ricerca tranne quelli che concernono il Basic Technology Research Programme (programma di ricerca tecnologica di base). La quota richiesta da questo accordo è significativamente inferiore a quella pagata da un membro effettivo.

Sin dal 1° gennaio 1979, l'Agenzia Spaziale Canadese (CSA) ha uno speciale status di cooperazione con l'ESA. In virtù di questo accordo, il CSA può prendere parte alle riunioni deliberative dell'ESA riguardanti i programmi, le attività e le aziende del Canada possono partecipare alle commesse dell'ESA. Questo accordo ha dimostrato di produrre un significativo ritorno industriale in Canada.

ESA vanta, inoltre, una stretta collaborazione con la Russia, soprattutto nel campo dei lanciatori. Inoltre, importanti collaborazioni sono state avviate con l'Agenzia Spaziale Cinese che ha incluso sia ESA che l'Agenzia Spaziale Russa tra i partner più importanti.

Attualmente l'ESA non fa parte dell'Unione Eeuropea (UE). Infatti, non tutti i Paesi dell'Unione Europea fanno parte dell'ESA, mentre l'organizzazione contiene anche membri non appartenenti all'Unione Europea (e.g. Svizzera). Le due organizzazioni hanno però molti contatti e spesso lavorano insieme per definire lo status giuridico dell'ESA nell'UE. L'ESA e l'UE hanno molti obiettivi in comune e l'ESA ha un ufficio di collegamento a Bruxelles. L'UE, in particolare, è interessata a mantenere un saldo controllo dello spazio in modo da poter consentire agli stati membri un accesso sicuro allo spazio, una risorsa vitale per le politiche economiche dell'UE e per il ruolo che l'UE vuole svolgere nel mondo. Infine, l'UE finanzia l'ESA per il 20% del budget totale.

Le linee di condotta dell'ESA vengono decise dal Consiglio ESA, costituito dai rappresentanti degli stati membri. Ogni stato membro è rappresentato nel Consiglio e ha un voto, indipendentemente dal suo contributo finanziario. Il Consiglio è coadiuvato dalle Commissioni specializzate dei vari programmi (che si occupano della gestione di programmi specifici), oltre che da un Comitato Scientifico, un Comitato Amministrativo e Finanziario, uno per la Politica Industriale e uno per le Relazioni Internazionali. Il Consiglio elegge un Direttore generale ogni quattro anni, a cui risponde ogni settore dell'agenzia.

Per realizzare i propri programmi, l'ESA spende la maggior parte dei suoi fondi in contratti assegnati alle industrie dei vari paesi membri. Tale politica permette a ciascun paese di poter ricevere come contropartita per gli investimenti effettuati un ritorno finanziario oltre che tecnologico. In tal modo, ogni euro che un dato paese membro versa nei fondi dell'Agenzia, dovrebbe rientrare quasi interamente in quel paese sotto forma di contratto industriale.

Le attività di ricerca e di sviluppo dell'ESA comportano dei vantaggi economici diretti e indiretti per le industrie europee. Molte aziende hanno svilup-

pato dei derivati dei prodotti dell'ESA o migliorato la propria produzione sfruttando l'esperienza tecnologica acquisita prendendo parte ad un programma dell'ESA.

Lo sviluppo di nuove tecnologie è una missione fondamentale per l'Agenzia Spaziale Europea. L'ESA spende direttamente circa l'8% del suo budget in Ricerca e Sviluppo in accordo a quanto sancito dalla Convenzione istitutiva dell'Agenzia.

Nello specifico, sono istituiti una serie di Programmi riguardanti differenti aree tecnologiche con diversi livelli di maturità delle attività svolte.

Le attività dell'ESA sono raggruppate in due categorie: i programmi "obbligatori" e quelli "facoltativi". I programmi svolti nell'ambito del budget generale e di quello del programma scientifico sono obbligatori e comprendono le attività di base dell'Agenzia (l'esame di progetti futuri, la ricerca tecnologica, gli investimenti tecnici comuni, i sistemi informativi, i programmi di formazione). Tutti i paesi membri contribuiscono a questi programmi proporzionalmente al loro reddito nazionale.

Esistono tre Programmi di carattere multidisciplinare che hanno lo scopo di valutare l'applicabilità al settore spaziale delle innovazioni.

- Il Basic Technology Research Programma (TRP) è responsabile dello sviluppo iniziale delle innovazioni proposte con riferimento a tutti i domini tecnologici e di impiego. In questo programma viene analizzata l'applicabilità delle nuove idee all'ambito spaziale. Il programma prevede la partecipazione mandatoria da parte di tutti i membri dell'ESA ed è focalizzato su progetti aventi un livello tecnologico massimo (TRL) pari a 3, organizzati in base ad un workplan di durata biennale. Ogni anno vengono attivati circa 150 contratti di ricerca per un investimento di oltre 50 milioni di Euro.
- Le innovazioni messe a punto in ambito TRP possono essere sviluppate ulteriormente in tecnologie abilitanti attraverso il secondo programma tecnologico dell'ESA a partecipazione mandatoria da parte degli Stati membri, il Science Core Technology Programme (SCTP). In **Figura 26** è riportata la suddivisione delle attività di ricerca svolte nel biennio 2014-2015.
- Il General Support Technology Programme (GSTP), invece, a partire dalle innovazioni che hanno dimostrato la loro applicabilità nel campo spaziale, ne cura l'ingegnerizzazione attraverso tutti gli stadi di sviluppo fino alla qualifica preliminare all'impiego nelle missioni operative. La partecipazione al programma, a differenza dell'SCTP, è su base volontaria da parte degli Stati membri e copre tutti i settori di interesse spaziale ad eccezione delle telecomunicazioni che sono gestite da un separato programma. Il

budget, su base quinquennale è di oltre 450 milioni di euro distribuiti su un numero di progetti compreso tra 60 ed 80. Il livello tecnologico (TRL) finale dei progetti realizzati è di 7-8. A titolo indicativo in

- Figura 27 è riportata la suddivisione delle attività di ricerca approvato nell'ottobre 2014 per il quinquennio successivo.

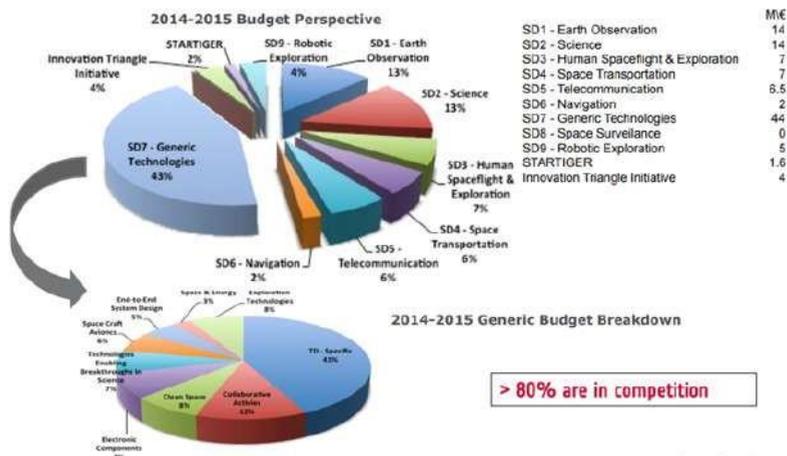


Figura 26 – Suddivisione per tematiche delle attività svolte in ambito TRP nel biennio 2014-2015.

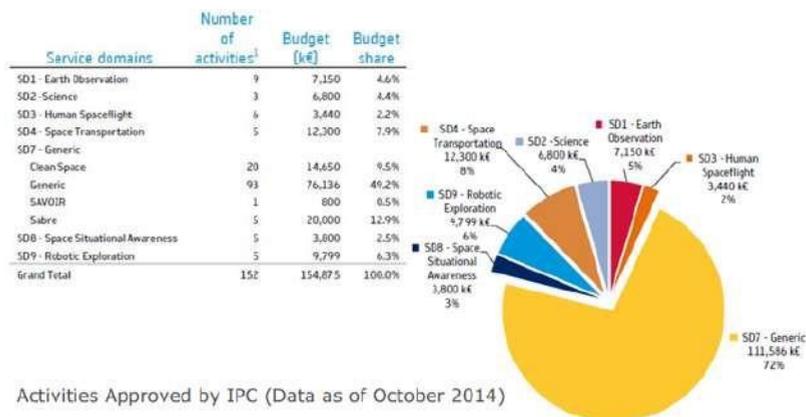


Figura 27 - Suddivisione per tematiche delle attività approvate in ambito GSTP all'ottobre 2014.

In aggiunta a questi programmi di carattere multidisciplinare esistono una serie di programmi di carattere settoriale, ai quali gli Stati Membri partecipano su base volontaria, e che nel seguito vengono descritti:

**ARTES (Advanced Research in Telecommunication Systems)** è il programma di lungo periodo dell'ESA destinato allo sviluppo di prodotti avanzati di servizi e comunicazioni satellitari.

**ARTES** ha l'obiettivo di favorire le collaborazioni internazionali e lo sviluppo delle capacità nel settore delle comunicazioni tramite una stretta sinergia tra industrie e Centri di Ricerca attraverso lo sviluppo di tecnologie avanzate che possano tradursi in prodotti e servizi altamente competitivi sul mercato.

Il Programma è articolato nei seguenti elementi:

- ARTES 1 (Preparatorio): analisi strategiche e di mercato, studi di fattibilità, sviluppo e support di nuovi standard di comunicazione satellitare.
- ARTES 3 and 4 (Prodotti): in questa sezione vengono messi a punto i nuovi componenti: dai singoli elementi di un payload ad un completo sistema di telecomunicazione.
- ARTES 5 (Tecnologia): sviluppi tecnologici a lungo termine in base ad indicazioni provenienti da ESA o dall'industria.
- ARTES 7 (EDRS): sviluppo ed integrazione dell'EDRS, Sistema Europeo di Relay Satellitare.
- ARTES 8 (Alphabus, Alphasat): sviluppo della piattaforma Alphabus e del satellite Alphasat.
- ARTES 10 (IRIS): sviluppo del Sistema Satellitare IRIS per la gestione del traffico aereo.
- ARTES 11 (Small GEO): sviluppo della piattaforma Luxor per satelliti geostazionari.

Il **Future Launchers Preparatory Programme (FLPP)** è un programma di sviluppo e maturazione tecnologica relativo ai futuri lanciatori europei e agli aggiornamenti ai veicoli di lancio esistenti. L'obiettivo finale è quello di ridurre tempi, rischi e costi dei programmi di sviluppo dei nuovi lanciatori. Avviato nel 2004, l'obiettivo iniziale dei programmi era quello di sviluppare le tecnologie per il New Generation Launcher (NGL) per seguire l'Ariane 5. Con l'inizio del progetto Ariane 6, lo scopo del FLPP è stato spostato su uno sviluppo generale di nuove tecnologie per i lanciatori europei. FLPP sviluppa e matura tecnologie che sono considerate promettenti per l'applicazione futura ma attualmente non dispongono di un livello di preparazione tecnologica sufficientemente elevato per consentire una valutazione chiara delle loro

prestazioni e del rischio associato. Queste tecnologie hanno in genere livello iniziale (TRL) pari a 3 o inferiore. L'obiettivo è di aumentarlo circa fino a 6, creando soluzioni che sono dimostrate in condizioni pertinenti e possono essere integrate in programmi di sviluppo a costi ridotti e con rischio limitato.

Le aree tecnologiche maggiormente interessate in FLPP sono:

- Sistemi di basso peso ed alte prestazioni,
- Spin-in e utilizzo di tecnologie commerciali già disponibili,
- Impegno di propulsori elettrici,
- Riduzione dell'impatto ambientale dei lanciatori,
- Sviluppo di nuove traiettorie per l'inserimento in orbita,
- Impiego di strutture a basso costo,
- Semplificazione della manifattura e della manutenibilità,
- Riutilizzabilità delle tecnologie esistenti.

I programmi descritti coprono circa i tre quarti del budget ESA destinato alla Ricerca ed allo Sviluppo.

Ulteriori programmi, sempre a partecipazione su base volontaria da parte degli Stati membri, sono:

- L'*Earth Observation Envelope Programme* (EOEP): dedicato al campo dell'Osservazione della Terra,
- L'*European GNSS Evolution Programme* (EGEP): supportato da 17 Stati membri e dal Canada ha la funzione di sviluppare e validare tecnologie di navigazione satellitare, con particolare riguardo al miglioramento delle prestazioni dei sistemi attualmente disponibili tramite l'impiego di dati satellitari (Space Based Augmentation System)
- L'*Human Exploration and Transportation Programme*: dedicato al volo ed all'esplorazione umana spaziale.
- Il *Mars Robotic Exploration Preparation* (MREP): dedicato a sviluppare i contributi tecnologici europei all'esplorazione di Marte.

### 3.11 Agenzia Spaziale Italiana<sup>61</sup>

L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) [273] è un ente governativo italiano, creato nel 1988, che ha il compito di predisporre e attuare la politica aerospaziale italiana. Dipende dal Governo e utilizza i fondi da questo ricevuti per finanziare il progetto, lo sviluppo e la gestione operativa di missioni spaziali, con obiettivi scientifici e applicativi.

---

<sup>61</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Gestisce missioni spaziali in proprio e in collaborazione con i maggiori organismi spaziali internazionali, prima tra tutte l'Agenzia spaziale europea (dove l'Italia è il terzo maggior contribuente dopo Francia e Germania, e a cui l'ASI corrisponde una parte del proprio budget), quindi la NASA e le altre agenzie spaziali nazionali. Per la realizzazione di satelliti e strumenti scientifici, l'ASI stipula contratti con le imprese, italiane e non, operanti nel settore aerospaziale.

Ha la sede principale a Roma e centri operativi a Matera (sede del Centro di geodesia spaziale Giuseppe Colombo) e Malindi, Kenya (sede del Centro spaziale Luigi Broglio).

Ha attualmente circa 200 dipendenti, e un budget annuale al 2019 di circa 900 milioni di euro. Le attività di ricerca vengono svolte in cooperazione con le Università, il CNR, gli osservatori astronomici ecc. I campi di studio sono in genere le "scienze dell'universo, le scienze della Terra, le scienze della vita" e la tecnologia aerospaziale.

Tra i maggiori progetti nazionali realizzati dall'ASI si annoverano quelli riguardanti: i satelliti per telecomunicazioni Italsat 1 e 2, Tethered Satellite System (il cosiddetto satellite al guinzaglio), le cui due missioni del 1994 e del 1996 hanno confermato la possibilità di operare con un filo nello spazio, Laeos 2 per studi di geodinamica e geodesia a raggi laser, lo stadio propulsivo IRIS (Italian Research Interim Stage) e il satellite scientifico Beppo-SAX per studi di sorgenti a raggi X galattiche ed extragalattiche, in orbita dal 1996 al 2002. Fra i progetti in sviluppo ha notevole rilevanza il Progetto 242, un programma per piccole missioni e lo studio di un prototipo di motore per viaggi interplanetari ideato dal Nobel C. Rubbia che permetterebbe di ridurre i tempi di andata e ritorno su Marte, sfruttando un propulsore azionato con un isotopo dell'americio. È, inoltre, operativo da pochi anni il sistema denominato Skymed-Cosmo, una costellazione di 4 piccoli satelliti (più due francesi), destinati all'osservazione della Terra, in grado di operare in qualsiasi condizione atmosferica grazie a sensori ottici e radar. Skymed-Cosmo sarà oggetto di una evoluzione nel prossimo futuro con il lancio di una nuova costellazione di satelliti Skymed-Cosmo II.

Vega è un altro programma che ha visto l'ASI impegnata nella realizzazione di un piccolo razzo vettore per satelliti fino a 1000 kg da inserire in orbita bassa. In ambito europeo, l'ASI cura la partecipazione italiana ai programmi scientifici dell'ESA e la realizzazione di alcuni componenti per la Stazione Spaziale Internazionale come il laboratorio Columbus. Sempre per la Stazione Spaziale, su commissione della NASA, ha realizzato i moduli MPLM denominati Leonardo, Raffaello e Donatello e ha il compito di costruire un

modulo abitabile in grado di ospitare sette astronauti. Ancora in ambito europeo, partecipa allo sviluppo del lanciatore Ariane 5, del sistema di trasmissione dati DRS (Data Relay System), del nuovo sistema per la navigazione satellitare Galileo. L'ASI ha partecipato allo sviluppo delle sonde Cassini/Huygens per l'esplorazione di Saturno e Titano, della Mars Express per l'esplorazione di Marte, della Rosetta per la cometa Wirtanen, e dei satelliti SOHO e Cluster 2 per lo studio del Sole, di Integral per i raggi gamma, di XMM-Newton per i raggi X, di Herschel e Planck per i raggi infrarossi.

### 3.12 SPIN-IT Space Innovation in Italy<sup>62</sup>

“SPIN-IT Space Innovation in Italy” [274], è la piattaforma tecnologica nazionale dedicata allo Spazio nata per promuovere l’innovazione e rafforzare la presenza italiana nei programmi europei e internazionali di ricerca applicata in questo settore.

La piattaforma, a cui partecipano imprese, università e centri di ricerca italiani, è stata costituita con il sostegno del MIUR-Ministero dell’Istruzione Università e Ricerca, su iniziativa di Confindustria SIT (Confindustria Servizi Innovativi e Tecnologici), di AIAD (Federazione aziende italiane per l’aerospazio, la difesa e la sicurezza), di ASAS (Associazione per i Servizi, le Applicazioni e le tecnologie ICT per lo Spazio) e con il supporto di AIPAS (Associazione delle Imprese per le Attività Spaziali).

SPIN-IT, strumento avanzato di sinergie fra industria, università e ricerca, intende valorizzare il dialogo con l’ASI, alla luce del suo documento di visione strategica 2010-2020 e favorire il confronto costante tra i soggetti istituzionali interessati, anche recependo i contributi del “Tavolo Industriale per il Sistema Spazio Italia”.

La Piattaforma tecnologica italiana per lo Spazio si ispira al modello delle ETP (European Technology Platform) come delineate dalla Commissione Europea. Essa si configura come “struttura aggregativa organizzata” che riunisce tutti gli operatori italiani industriali, scientifici, e istituzionali, per il perseguimento di specifici obiettivi in tema di innovazione e sviluppo, con particolare attenzione alla promozione delle competenze e degli interessi italiani in Europa e alla valorizzazione dei diversi Attori (Grande industria, PMI, Università e Ricerca, Distretti) e delle loro possibili sinergie.

---

<sup>62</sup> Università degli Studi di Napoli “Federico II”.

## 4. Aggregazioni Industriali e Trasferimento Tecnologico

Il presente capitolo affronta il problema delle aggregazioni industriali finalizzate, tra le altre cose, alla ricerca e sviluppo e al trasferimento tecnologico. Partendo dal Cluster Tecnologico Nazionali e passando per i Distretti Aerospaziali si analizza la realtà italiana per poi passare a descrivere alcuni modelli organizzativi europei ritenuti rilevanti.

### 4.1 Il Cluster Tecnologico Nazionale<sup>63</sup>

I cluster tecnologici nazionali sono reti di soggetti pubblici e privati che operano sul territorio nazionale in settori quali la ricerca industriale, la formazione e il trasferimento tecnologico. Funzionano da catalizzatori di risorse per rispondere alle esigenze del territorio e del mercato, coordinare e rafforzare il collegamento tra il mondo della ricerca e quello delle imprese [275]. Ciascuna aggregazione fa riferimento a uno specifico ambito tecnologico e applicativo ritenuto strategico per il Paese, di cui rappresenta l'interlocutore più autorevole.

Come strumenti di coordinamento, consultazione e riferimento, elaborano proposte e strategie per accelerare i processi di innovazione e aumentare la competitività industriale del sistema Paese. Hanno il compito di (1) guidare il percorso di riposizionamento strategico del sistema produttivo nel panorama tecnologico internazionale; (2) raccogliere in modo coordinato e organico le migliori esperienze e competenze esistenti sul territorio di riferimento e sul territorio nazionale, favorendo l'inclusione di tutte le organizzazioni operanti nel settore interessate ad aderire e realizzando, allo stesso tempo, sinergie tra settori industriali diversi sulle stesse tipologie tecnologiche; (3) favorire una stabile connessione e interazione tra ambiti, politiche, interventi e strumenti di carattere nazionale, regionale e locale; (4) valorizzare i programmi strategici di ricerca, di sviluppo tecnologico e innovazione coerenti con i programmi nazionali e internazionali, in particolare la Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI) e il Programma Europeo per la ricerca e l'innovazione Horizon 2020; (5) creare le condizioni per migliorare la capacità di attrazione di investimenti e di talenti.

Nel 2012 il Miur, coerentemente con le priorità delineate nel Programma dell'Unione Europea per la ricerca e l'innovazione Horizon 2020, ha promosso

---

<sup>63</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

la nascita e lo sviluppo dei primi otto cluster tecnologici nazionali tra cui quello dell'Aerospazio. Questo processo ha visto il coinvolgimento delle Regioni, chiamate a sostenere anche finanziariamente le attività complementari funzionali allo sviluppo e alla valorizzazione dei cluster, nell'ambito di specifici Accordi di Programma con il Miur. Il 17 agosto 2016 il Miur ha pubblicato l'avviso per lo sviluppo e il potenziamento di quattro nuovi cluster tecnologici nazionali.

Il Cluster Tecnologico Nazionale Aerospazio CTNA [276] è il punto di sintesi e convergenza di bisogni e priorità che i diversi portatori di interesse del sistema aerospaziale nazionale hanno maturato negli ultimi anni alla luce dell'andamento del mercato globale e delle politiche settoriali a livello europeo ed internazionale. Esso, infatti, quale interlocutore nazionale unico, aggrega tutti gli attori principali del sistema aerospaziale nazionale: Grandi, medie e piccole aziende, Centri di Ricerca, mondo Accademico, Istituzioni Governative, Agenzie e Piattaforme nazionali, Federazioni di Categoria e Distretti industriali e tecnologici aerospaziali regionali. Il Piano Strategico del CTNA è in linea e si accorda con le politiche europee sull'aerospazio, con particolare riferimento a HORIZON 2020.

In accordo alle visioni strategiche a livello europeo promosse da ACARE e dall'ESA, e riprese a livello nazionale dalle piattaforme ACARE Italia e Spin-IT, rispettivamente per il settore Aeronautico e per il settore Spazio, il CTNA identifica la necessità di assicurare il posizionamento della industria aerospaziale italiana ai livelli più alti e importanti in Europa, sia nel settore aeronautico, con la sfida di realizzare un "sistema di trasporto smart", eco-sostenibile ed integrato, sia nella ricerca spaziale rivolta allo sviluppo, salvaguardia e mantenimento del ruolo di leadership nelle tecnologie abilitanti.

Vengono di seguito esaminate le principali aggregazioni regionali che aderiscono al CTNA al fine di rilevare ove possibile le loro strategie e i loro processi di prioritizzazione e le metodologie ad essi correlate.

L'industria aerospaziale possiede le caratteristiche per essere ascritta tra le attività produttive che si collocano a pieno titolo su un mercato completamente globalizzato. Nessun paese avanzato può fare a meno di concorrere ad alimentarne la domanda di mercato che non conosce alcun tipo di limitazione alla diffusione di natura geografica o culturale. Inoltre, la produzione del settore è caratterizzata da un costo delle materie prime e del loro trasporto che possono essere considerati marginali rispetto al valore finale dei prodotti.

La somma di questi fattori, unitamente alla proprietà del settore di assorbire innovazione tecnologica da una pluralità particolarmente ampia di aree

ingegneristiche e quindi di fornitori di tecnologie, potrebbe far concludere che la localizzazione geografica dei sistemi produttivi in un'industria con un profilo spiccatamente internazionale sia poco rilevante.

Al contrario, non solo si osserva una forte concentrazione del settore in un numero relativamente ristretto di aree geografiche, ma si assiste alla nascita di organizzazioni e di sistemi per lo sviluppo delle attività industriali aerospaziali che comprendono la partecipazione congiunta di università, imprese e istituzioni impegnate in sinergia per far leva sulle capacità locali al fine di emergere nel mercato globale.

Dal momento che i territori e le loro specificità contano in misura determinante sugli assetti competitivi del settore, risulta interessante studiarne le modalità di organizzazione e di supporto sia di origine pubblica che di matrice privata.

Per incidere sulle quote di mercato del comparto risulta infatti decisivo non soltanto il tema dell'eccellenza delle singole imprese o della competenza dei centri di ricerca. Ad acquisire valore strategico è anche la "competitività di sistema" e quella istituzionale per lo sviluppo delle attività dei player agglomerati su basi territoriali specifiche.

Si tratta di un tema sul quale l'Italia, a livello nazionale come a quello regionale, è stata chiamata a pronunciarsi progettando forme di governance sempre più solide in maniera da difendere le eccellenze nazionali, mettendole in condizioni di competere ad armi pari, anche dal punto di vista del sostegno istituzionale, sul mercato globale.

**Il Distretto Tecnologico Aerospaziale della Campania** – DAC S.c.a.r.l. è stato costituito il 30 maggio 2012. Attualmente, considerando anche le aziende che aderiscono ai consorzi soci, vi partecipano 159 soggetti, tra cui 22 Grandi Imprese, 18 tra Centri di Ricerca e Università (tra cui il CIRA, il CNR, l'ENEA, e le 5 Università campane con corsi di Laurea in Ingegneria) e 109 PMI [277].

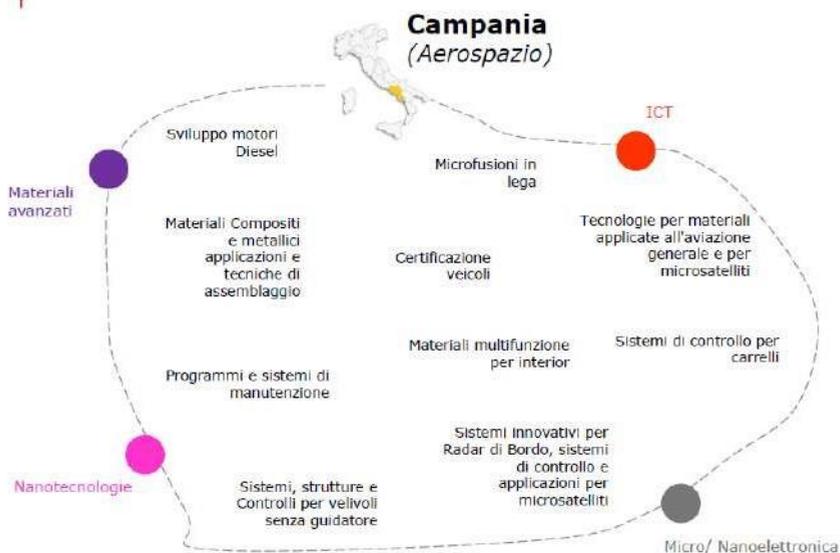
Come nuovo modello di sviluppo, la sfida raccolta dal DAC è legata al consolidamento ed all'integrazione delle capacità di tutte le eccellenze industriali del territorio della Campania:

1. Aviazione Commerciale – per lo sviluppo di metodologie e tecnologie abilitanti per la progettazione e realizzazione del nuovo velivolo regionale;
2. Aviazione Generale – per lo sviluppo di tecniche di fabbricazione ed assemblaggio di velivoli leggeri per la Business & General Aviation (B&G Aviation);

3. Spazio e i Vettori – per la progettazione e lo sviluppo di piattaforme spaziali come i micro-satelliti e tutte le tecnologie duali legate a vettori ed a sistemi per la logistica e le comunicazioni;
4. Manutenzione e Trasformazione – per lo sviluppo di metodi di manutenzione e trasformazione utili alle nuove tecnologie e metodologie programmate nell’ambito del distretto.

Il DAC ha la struttura di una Società Consortile e gli organi di governo sono

- Il CdA Il Consiglio di Amministrazione;
- Il Comitato Strategico di Indirizzo (CSI): ha il compito di stimolare e indirizzare le scelte mirate al rafforzamento e allo sviluppo di attività di ricerca e innovazione di prodotto e di processo nonché il compito di promuovere ed accrescere le attività del Distretto da un punto di vista strategico.
- Al Comitato Tecnico Operativo (CTO) è affidata la gestione tecnica delle attività progettuali. È composto da membri con comprovata competenza e capacità tecnica di impostazione e gestione di progetti complessi.

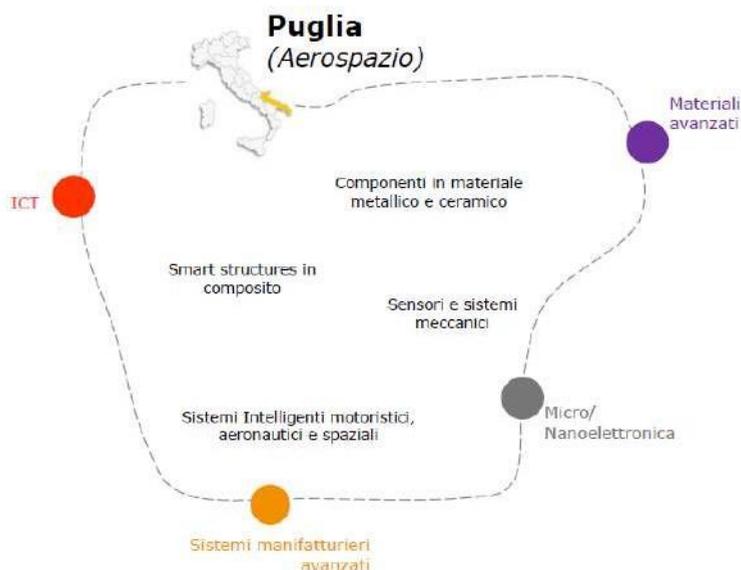


**Figura 28** – Aree di specializzazione della Campania secondo il rapporto INVITALIA “La mappa delle specializzazioni tecnologiche”, 1° giugno 2014.

Il DTA - Distretto Tecnologico Aerospaziale Pugliese è una Società Consortile a responsabilità limitata. Aderiscono alla Scarl [278]: soggetti privati per il 46% (Leonardo spa 24%, GE Avio srl 12%, e altri); soggetti pubblici per il 54% (Università del Salento 11%; Università degli studi di Bari 11%; Politecnico di Bari 11%, CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche 10,5%, ENEA 10,5%).

La Società indirizza le proprie attività sui seguenti filoni e tematiche della ricerca tecnologica:

- 1) nuove tecnologie e metodi innovativi per la progettazione e realizzazione con materiali avanzati di componenti e strutture per impiego aerospaziale;
- 2) nuove tecnologie per componenti di sistemi per il monitoraggio e la sicurezza nel settore aerospaziale;
- 3) nuovi metodi e tecnologie innovative per la realizzazione di sistemi integrati di gestione operazioni, di gestione del ciclo di vita dei prodotti e di protezione delle infrastrutture nel settore aerospaziale;
- 4) tecnologie dei turbomotori aeronautici;
- 5) prodotti e processi delle PMI aerospaziali.



**Figura 29** – Aree di specializzazione della Puglia secondo il rapporto INVITALIA “La mappa delle specializzazioni tecnologiche”, 1° giugno 2014.

Nel panorama internazionale dell'industria dell'Aerospazio, dell'Aeronautica e della Sicurezza, il Lazio occupa un ruolo di rilievo per la sua forte specializzazione di filiera, sia in termini di industria manifatturiera, sia per le specifiche competenze in servizi tecnologici e R&S.



**Figura 30** – Aree di specializzazione del Lazio secondo il rapporto INVITALIA “La mappa delle specializzazioni tecnologiche”, 1° giugno 2014.

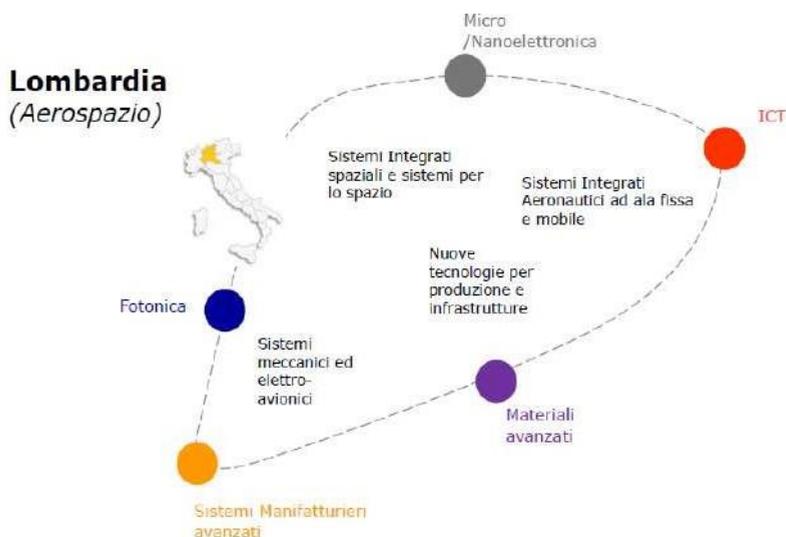
Il DTA – Distretto Tecnologico dell'Aerospazio del Lazio [279], coordinato da Lazio Innova è nato con l'obiettivo di favorire la ricerca industriale, la formazione, il trasferimento tecnologico e l'avvio di nuove iniziative imprenditoriali in linea con i principi della strategia di specializzazione intelligente della regione. In Lazio ci sono circa 200 imprese attive in un'ampia gamma di settori: avionica, elettronica, sistemi avanzati di gestione del traffico aereo-marittimo e aeroportuale, componentistica, micro e nano satelliti, materiali innovativi, servizi satellitari; oltre 25.000 addetti; più 5 miliardi euro di fatturato; 1,1 miliardi di euro di export.

L'AdS, ben rappresentata dal **Cluster Aerospaziale Lombardo** [280], è una realtà territoriale produttiva che, grazie a una fitta e variegata presenza di piccole, medie e grandi imprese, da sola, rappresenta circa un terzo dell'export italiano dei comparti del sistema manifatturiero legato

all'aerospazio. Il sistema produttivo è composto da più di 185 imprese con più di 15.000 addetti e un fatturato complessivo che si aggira intorno ai 4 miliardi di euro di cui 1,7 miliardi di euro di export. Sul territorio sono presenti tutte le tecnologie e le competenze dell'intera catena di fornitura necessaria alla realizzazione di piattaforme ad ala fissa, mobile e per lo spazio.

Al sistema delle imprese e dei servizi si affianca il sistema della ricerca che da tempo collabora in sinergia con la produzione facendo leva su competenze scientifiche in diversi ambiti tecnologici: sensoristica, acustica, ICT, materiali, meccanica, progettazione e integrazione di sistemi complessi, testing, RfID, telerilevamento e osservazione della terra, monitoraggio ambientale, payloads e sistemi ottici complessi per applicazioni satellitari.

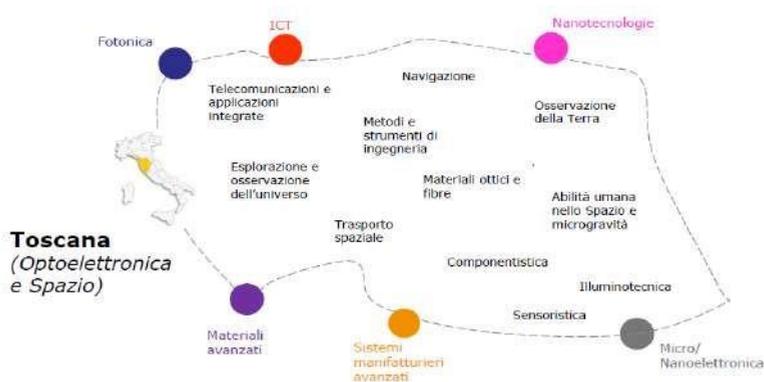
In termini di innovazione e ricerca il settore aerospaziale svolge un ruolo di traino nell'aprire sempre nuovi percorsi di sviluppo tecnologico grazie alla propensione delle imprese a dedicare risorse specifiche alla ricerca ed allo sviluppo innovativo, ma anche grazie alla ricchezza del tessuto produttivo e delle conoscenze tecnologiche presenti. Nel settore aerospaziale la ricerca privata ammonta mediamente a circa il 12% del fatturato.



**Figura 31** – Aree di specializzazione della Lombardia secondo il rapporto INVITALIA “La mappa delle specializzazioni tecnologiche”, 1° giugno 2014.

In Toscana il **DT-F.O.R.T.I.S. (Technological District for ICT Photonics Robotics and Space Applications)** per il tramite del CNR IFAC partecipa Cluster Tecnologico Nazionale Aerospazio (CTNA) [281].

Il comparto aerospaziale in Toscana coinvolge circa 1000 addetti con la presenza di alcuni prime contractor di livello nazionale e internazionale, come Selex ES (Finmeccanica) specializzata in strumenti elettro-ottici per l'osservazione terrestre e l'esplorazione planetaria o Kayser Italia e Syrio Panel (Finmeccanica) ma anche altre PMI, molto attive nelle attività di progettazione, sviluppo e fornitura di parti e sottosistemi oltre che per i servizi di downstream.



**Figura 32** – Aree di specializzazione della Toscana secondo il rapporto INVITALIA “La mappa delle specializzazioni tecnologiche”, 2014.

Il Cluster chiamato **Innovation & Research for Industry (iR4i)** [282] promuove la capacità di Innovazione e Ricerca in un settore tecnologicamente avanzato come l'Aerospaziale/Aeronautico. Le Aziende dell'Emilia-Romagna hanno dimostrato nel passato - e tutt'oggi, nel presente - punte di eccellenza nella F.1, nel Racing e nella Motoristica Automotive, spaziando dal Packaging fino alla Meccanica Avanzata, con risultati sorprendenti in termini di Performance & Capabilities.

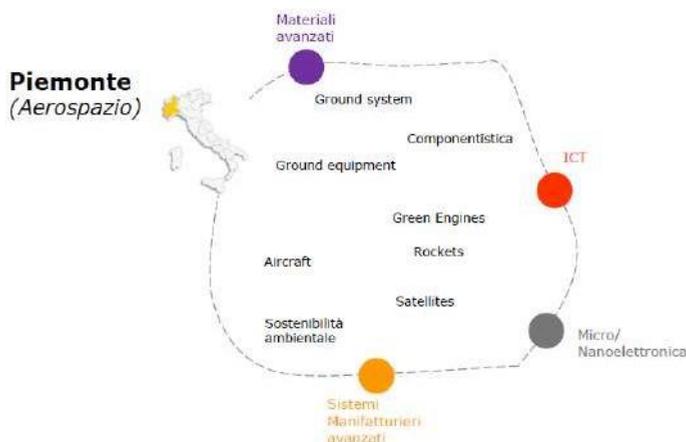
Le Aziende del Cluster, con lo spirito che contraddistingue l'imprenditoria dell'Emilia-Romagna, hanno provato la loro capacità di competere sui mercati internazionali, divenendo in molti casi un punto di riferimento per l'industria mondiale con standard di qualità elevatissimi. Convergenza oggi nel Cluster IR4I, queste eccellenze regionali arrivano a costituire un leader indiscusso nell'high-tech, grazie al background sviluppato nella Ricerca & Innovazione di Prodotto.

Il Cluster raggruppa 29 Aziende con un totale dei dipendenti di circa 2000 e un fatturato complessivo è circa 500 milioni di euro.

In Piemonte il settore aerospaziale rappresenta una delle eccellenze del tessuto produttivo e scientifico. La filiera produttiva presenta know-how, capacità tecniche, manifattura di alto livello, imprese impegnate nello sviluppo di processi e servizi, cooperazione con le università e con la rete di ricerca & sviluppo e una catena di fornitura organizzata. Questo scenario è ulteriormente arricchito dalla presenza del **Distretto Aerospaziale Piemonte** [283] e dalla presenza della grossa industria italiana del settore spazio: Thales Alenia Space, l'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) e dal Center for Space Human Robotics (CSHR), spin off del Politecnico di Torino.

In Piemonte insistono circa 300 PMI, 15000 addetti, con circa € 4 miliardi di fatturato. Il Piemonte detiene circa il 15% dell'export nazionale del settore in prevalenza verso gli Stati Uniti (26%), Germania (22%) e Regno Unito (17%).

Le 5 grandi aziende leader del settore a livello nazionale e internazionale - Leonardo Aircraft, Avio Aero, Collins Aerospace, Thales Alenia Space, ALTEC - conducono lo sviluppo e la produzione di sistemi aeronautici ed elettronici, radar, simulatori di volo, propulsori spaziali, sistemi satellitari e infrastrutture spaziali, propulsori aeronautici, sistemi di attuazione, strutture aeronautiche: la loro attività spazia dal trasporto civile alle applicazioni scientifiche, dalle telecomunicazioni alla difesa. Altro importante settore di specializzazione è quello legato alla costruzione dei velivoli ultra leggeri, che vede il coinvolgimento anche di piccole imprese. Accanto alle grandi imprese, un gruppo di circa 20 imprese è specializzata nella produzione di parti, componenti e interi sistemi per l'industria aeronautica e spaziale.



**Figura 33** – Aree di specializzazione del Piemonte secondo il rapporto INVITALIA “La mappa delle specializzazioni tecnologiche”, 1 giugno 2014.

In Umbria, per iniziativa di Confindustria Umbria, è stata costituita un'Associazione tra imprese, denominata "**Umbria Aerospace Cluster**" [284].

Essa si propone di rappresentare, promuovere e valorizzare all'interno ed all'esterno della Regione Umbria, le peculiarità delle imprese umbre operanti nei settori aeronautico, spaziale e della difesa.

Il **Distretto AeroSpaziale della Sardegna (DASS)** è una società consortile a responsabilità limitata costituita il 15 Ottobre 2013 e partecipata al momento da 5 Soci pubblici e 24 privati [285].

La Società ha scopo consortile, mutualistico e non lucrativo e non può, quindi, distribuire ai Soci utili che, se prodotti, devono essere reinvestiti in attività di ricerca, sviluppo, formazione e diffusione. Il DASS ha la finalità di intraprendere iniziative idonee allo sviluppo, nella Regione Sardegna, di un distretto tecnologico aerospaziale. La Società ha altresì lo scopo di sostenere, attraverso le proprie competenze scientifiche e tecnologiche, l'attrattività di investimenti in settori produttivi ad alta tecnologia, di contribuire al rafforzamento delle competenze tecnico-scientifiche dei Soci, nonché di rafforzare il sistema della ricerca regionale sarda, nazionale e internazionale.

Il **Cluster Lucano dell'Aerospazio** [286] è operativo dal 2015 in Basilicata in attuazione della Smart Specialization regionale. Esso sta terminando la definizione dei progetti inseriti nella Road Map ovvero nel documento di politica industriale volto a delineare gli assi di interventi a favore delle imprese lucane che operano nel comparto dell'osservazione della Terra e della componentistica aerospaziale.

## 4.2 Il Cluster Tecnologici Nazionali

In questo capitolo verrà fornita una panoramica sui distretti aerospaziali europei che ad oggi risulta essere il modello organizzativo, a livello regionale, più appropriato per poter fronteggiare le dinamiche del settore aerospaziale.

### 4.1.1 L'Aerospace Valley<sup>64</sup>

Creata nel 2005, la Aerospace Valley è il "pôle de compétitivité" più innovativo in Francia nei campi dell'aeronautica, dello spazio e dei sistemi embedded, contando oltre 869 membri sia del settore che del mondo accademico (di cui 505 SME) [287].

Con uffici a Tolosa (HQ) e Bordeaux, il cluster di innovazione copre le due regioni geograficamente adiacenti della Francia sud-occidentale, Occitania e

---

<sup>64</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

Nuova Aquitania. Con circa 120.000 dipendenti industriali, la Aerospace Valley rappresenta circa 1/3 della forza lavoro aerospaziale francese. Analogamente, 8.500 ricercatori e scienziati sono attivi all'interno del territorio, che rappresentano il 45% del potenziale nazionale francese di R&S nel settore aerospaziale.

A giugno 2016, Aerospace Valley ha ottenuto finanziamenti per 475 progetti di R&S che rappresentano un valore di 1,2 miliardi di euro. Essi coprono la maggior parte dei settori scientifici e tecnici relativi ai vari settori dell'aerospazio. Nell'ambito del programma generale francese "pole de compétitivité", che mira a stimolare l'occupazione promuovendo competenze locali e regionali in aree tecniche ed economiche, l'Aerospace Valley opera per creare 35-40 000 nuovi posti di lavoro entro l'anno 2025.

Hanno sede nel territorio di riferimento di Aerospace Valley alcune grosse realtà industriali.

Il fatturato aggregato annuo totalizzato dalle imprese che compongono il polo aerospaziale "Aéronautique, Espace et Systèmes embarqués" di Midi-Pyrénées e Aquitaine raggiunge circa 10 miliardi di euro.

Il Grand Sud-Ouest ha una radicata vocazione accademica, anche e soprattutto nell'ambito della formazione di risorse umane specializzate nei settori rilevanti per il distretto aerospaziale di Aquitaine e Midi Pyrénées.

Sono ad oggi più di 200'000 gli studenti impiegati in percorsi di formazione universitaria in Aquitaine e Midi-Pyrénées. Il territorio del distretto conta su diverse Università.

Hanno altresì sede a Tolosa tre delle quattro Grandes Ecoles aeronautiche francesi. Le regioni d'Aquitaine e Midi-Pyrénées ospitano peraltro numerosi altri centri di formazione e training non accademici di rilevanza europea e mondiale, spesso legate a realtà multinazionali.

L'area del Grand Sud-Ouest raggruppa più di 8.500 persone impegnate nella ricerca pubblica locale, il 45% dei quali afferiscono direttamente al settore scientifico-tecnologico di Aerospace Valley, ossia l'aeronautica, l'aerospazio e i sistemi integrati.

Sono oltre 80 i Centri di Ricerca pubblici specializzati censiti tra Aquitaine e Midi-Pyrénées tra cui il CERMAS, il CESR, il CNES, l'INRIA, il LAAS, l'ONERA.

Sono diversi gli organismi istituzionali del Grand Sud-Ouest a rivolgere particolare attenzione al settore aeronautico, aerospaziale e dei sistemi integrati. Occupano una posizione di rilievo le due Agenzie di Sviluppo regionale di Midi-Pyrénées e Aquitaine, rispettivamente Midi-Pyrénées Expansion e 2ADI. Entrambe riconoscono la filiera aerospaziale quale asset strategico di

sviluppo delle Regioni e, partecipando in qualità di membri all'associazione Aerospace Valley, fungono da struttura d'appoggio alle attività del distretto.

Alle attività delle due Agenzie di sviluppo regionale si affiancano quelle implementate da Midi-Pyrénées Innovation e Innovalis Aquitaine, Agenzie per l'Innovazione, le quali offrono servizi analoghi ma orientati in modo esclusivo allo sviluppo innovativo e tecnologico delle PMI locali.

La Regione Midi-Pyrénées promuove altresì un incubatore di impresa, Incubateur Midi-Pyrénées, orientato in modo particolare al sostegno agli spin-off accademici.

Particolare riguardo rispetto allo sviluppo del settore aeronautico e aerospaziale è altresì riposto dalla Direzione dell'Azione Economica e della Ricerca (DAER) della Regione Midi-Pyrénées, che in larga parte coordina l'intervento pubblico nelle principali attività di Aerospace Valley.

Un ruolo non secondario nella promozione della vocazione aerospaziale del Grand Sud-Ouest è altresì giocato dalle Camere di Commercio, specie quella di Tolosa, città che costituisce il vero e proprio fulcro del distretto in quanto a concentrazione di competenze, centri di formazione e ricerca e imprese. Altre organizzazioni ibride, che comprendono soggetti pubblici e private, sono sorte in questi anni a livello locale.

Aerospace Valley ha assunto una struttura organizzativa di tipo single-governance, la quale prevede l'esistenza di un Governing Board costituito dai rappresentanti del mondo dell'Industria e della Ricerca, operare all'interno di un'organizzazione permanente, unitamente alle Agenzie di sviluppo regionale.

L'attività di Aerospace Valley si fonda su 9 Aree Strategiche (DAS): Aeronautica, materiali e strutture, Energia, motorizzazione e propulsione, Sicurezza del trasporto aereo, Terra e Spazio, Navigazione, posizionamento e telecomunicazioni, Sistemi integrati, Architetture e integrazione, Manutenzione, servizi e training, Accesso allo spazio e infrastrutture orbitali.

Queste Aree Strategiche vengono incrociate a 3 Campi di Attività Trasversali (DAT): Formazione, Sviluppo Economico, Ricerca.

#### 4.1.2 HEGAN<sup>65</sup>

L'industria aeronautica e spaziale si è particolarmente sviluppata in Spagna negli ultimi decenni [288]. Infatti, nel 2015 essa ha raggiunto un fatturato di 11.700 milioni di euro e un livello di occupazione di circa 53.000 addetti. Il trend del settore è stato caratterizzato da elevati tassi di crescita e forti

---

<sup>65</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

investimenti in attività di R&S&I che ricevono intorno al 10% del fatturato. Inoltre, il 70% degli introiti del settore corrisponde alle esportazioni, quota che evidenzia lo straordinario sforzo delle imprese spagnole per accrescere la loro capacità tecnologica e presenza nei mercati esteri.

Secondo i dati dall'Associazione di categoria TEDAE (Associazione Spagnola delle Tecnologie per la Difesa, Aeronautica e Spazio) la Spagna si posiziona attualmente nei primi dieci posti nel ranking mondiale dell'industria aeronautica con una forte specializzazione delle aziende nelle industrie di aerei da trasporto militare, turbine a bassa pressione, attività di manutenzione, aerei da rifornimento in volo, aerostutture in materiali compositi e sistemi di gestione del traffico aereo.

La Spagna contribuisce inoltre a diversi programmi europei, sia civili che militari, per lo sviluppo aeronautico e, in quanto membro dell'ESA, negli ultimi anni ha aumentato notevolmente la sua partecipazione alle missioni dell'Agenzia comportando un importante ritorno per il paese in termini di contratti per le imprese spagnole e dando così la possibilità alla comunità scientifica del paese di poter disporre delle tecnologie spaziali più sofisticate nella ricerca.

Tra le strutture di supporto all'industria aeronautica, si trovano in Spagna cinque cluster ubicati nelle regioni di Madrid, Andalusia, Paesi Baschi, Castilla-La Mancha e Catalogna. Il distretto aeronautico madrileno è quello che accoglie il maggior numero di imprese e detiene le più elevate quote sia a livello di fatturato (58% del totale) che di occupazione (50% del totale), mentre per quanto riguarda l'industria aerospaziale i Paesi Baschi concorrono per il 25% alla creazione del fatturato totale del settore a livello nazionale. L'attività delle imprese aerospaziali basche è supportata anche dalla presenza nella regione di infrastrutture finalizzate ad accogliere le imprese tecnologicamente più innovative e ad offrire loro tutta una gamma di servizi avanzati nel campo della ricerca e del trasferimento tecnologico.

Tra le opportunità che il settore aeronautico spagnolo offre vanno segnalate le seguenti aree: ATM (Air Traffic Management); Avionica; Centri di formazione per i piloti e per i tecnici di manutenzione; Elicotteri; UAV.

Oltre a queste aree, si trovano i materiali compositi che si presentano oggi come il futuro delle tecnologie nella fabbricazione di aerostutture. La Spagna si trova all'avanguardia nell'utilizzo di questa tecnologia

Con il recente sviluppo, l'industria aerospaziale Basca ha raggiunto una posizione di prevalenza a livello nazionale, rappresentando circa il 25% del fatturato totale del settore aerospaziale spagnolo. Tale consolidamento è frutto di programmi di cooperazione tra le imprese, organizzate in un cluster gestito dall'associazione Hegan [288] e sostenuto dal Ministero dell'Industria Basco.

I Paesi Baschi vantano un'elevata concentrazione di imprese aerospaziali. A fronte di un territorio di estensione paragonabile a quella del Molise, arrivano infatti a più di 50 unità le realtà industriali operanti nel settore aeronautico e spaziale nella regione, occupando oltre 14.000 addetti.

Nel 2018, la filiera aerospaziale dei Paesi Baschi ha raggiunto, nel suo complesso, un fatturato complessivo pari a circa 2500 milioni di Euro, segnando circa un raddoppio rispetto al 2009.

Nel corso dell'ultimo decennio la tendenza è stata quella di un costante incremento, che ha portato nel 2018 il numero di addetti operanti nella filiera aerospaziale dei Paesi Baschi a sfiorare le 15.000 unità a fronte di 6000 unità del 2006 e 12.000 unità nel 2012.

Sono quattro i poli universitari presenti nella regione dei Paesi Baschi, ognuno dei quali sviluppa programmi di formazione cui possono beneficiare, direttamente o meno, futuri addetti del settore aerospaziale.

I Paesi Baschi dispongono di un corposo tessuto di organismi di ricerca le cui attività hanno ricadute positive sullo sviluppo della filiera aerospaziale: il CTA (Centro de Tecnologías Aeronáuticas); Ikerlan, Centro di Ricerca specializzato in tecnologie meccatroniche; il CEIT (Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas) di Gipuzkoa; Robotiker, Centro specializzato in tecnologie dell'informazione applicate a diversi settori, tra cui quello aerospaziale.

Rilevante è infine il ruolo giocato dai tre Parchi Tecnologici presenti sul territorio dei Paesi Baschi: il Parque Tecnológico de Alava, il Parque Tecnológico de Gipuzkoa e il Parque Tecnológico de Bizkaia, dove è localizzata la sede dell'associazione che regge il cluster aerospaziale, Hegan.

Tratto comune dei Parchi Tecnologici, i quali raccolgono la maggior parte delle PMI aerospaziali che compongono il distretto dei Paesi Baschi, è la messa a disposizione di servizi comuni alle imprese, specie per ciò che concerne laboratori ed aree dedicate alla manutenzione e al testing dei prodotti.

In quanto comunità autonoma, i Paesi Baschi godono di una serie di poteri amministrativi e di indirizzo a livello esclusivo, quali ad esempio la politica industriale, la Formazione e gli investimenti pubblici.

Il Governo Basco ha tradizionalmente messo in campo programmi e iniziative di supporto all'imprenditorialità e allo sviluppo tecnologico delle PMI, nonché al miglioramento infrastrutturale, specie se legato alle tecnologie ICT.

In questo contesto, un ruolo di punta è ricoperto dalla Sociedad para la Promoción y la Reconversión Industrial, S.A. (SPRI), l'Agenzia di Sviluppo economico dei Paesi Baschi, costituita nel 1981 dagli organi del Governo Basco. È rilevante l'attenzione riposta da SPRI nel finanziamento all'innovazione, in particolare per ciò che concerne le iniziative di Venture Capital. A tal

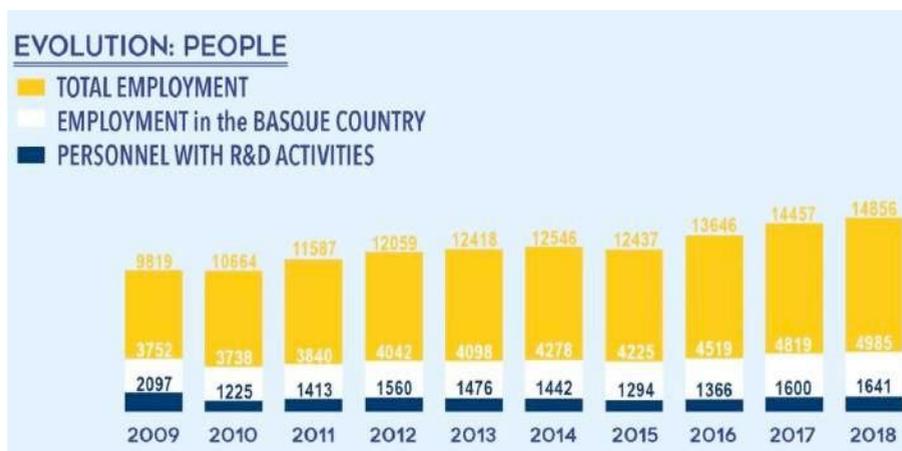
proposito, il Governo Basco ha istituito, nel 1985, la SGECR S.A., Società di gestione del capitale di rischio dei Paesi Baschi. La Società ha lo scopo di fungere da intermediario tra i Venture Capitalists e i potenziali fruitori, analizzando e selezionando i progetti proposti, nonché monitorando l'iter di finanziamento.

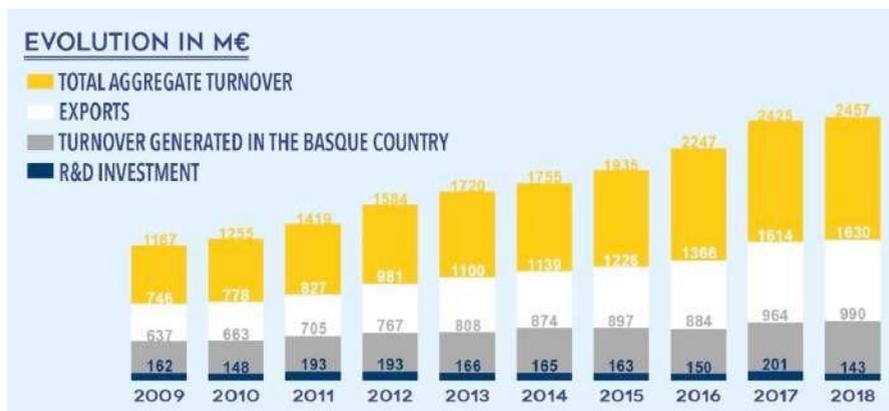
La Pubblica Amministrazione Basca ha altresì creato enti di supporto alle PMI per ogni area sensibile, quali Qualità (Euskalit), Ambiente (Ihobe), Innovazione Tecnologica (Eite).

L'associazione Hegan si è dotata di una struttura organizzativa a tre livelli, nella quale trovano rappresentazione tutte le categorie di attori coinvolte nei processi di sviluppo della filiera aerospaziale Basca.

A dettare le linee guida dello sviluppo del cluster è il Comitato Esecutivo. Nominato dall'Assemblea, si compone di 7 membri provenienti dal mondo delle imprese, dell'Accademia e delle Istituzioni locali, i quali si riuniscono su base bimestrale. Sono stati individuati cinque gruppi di lavoro impegnati in altrettante attività di sviluppo (Finanza, Internazionalizzazione, Risorse Umane, Ricerca e Sviluppo, Qualità), facenti capo al Comitato Esecutivo. Hegan raccoglie, in qualità di membri, 31 imprese aerospaziali (di cui 27 PMI) e 3 rappresentanti del mondo accademico.

Il fabbisogno finanziario annuale dell'Associazione per l'implementazione delle attività e per la copertura dei costi fissi viene assicurato, per oltre il 60%, dall'intervento pubblico, in particolar modo a livello regionale (47% delle entrate complessive). La restante quota di entrate viene raccolta attraverso la riscossione di participation fees annuali praticate ai membri dell'Associazione.





**Figura 34** – *Evoluzione del numero di addetti nel comparto aerospaziale e di altri parametri economici (Rapporto annuale 2018).*

Il programma di attività a sostegno della crescita della filiera aerospaziale nei Paesi Baschi allestito dall’associazione Hegan, ente di riferimento del distretto, discende direttamente dal modello organizzativo adottato e descritto in precedenza. Questa vede, per ciò che concerne la struttura operativa, una divisione tra le attività di sviluppo interno del cluster e le attività di promozione e networking a livello internazionale.

Lo sviluppo interno del cluster Hegan mantiene negli anni il suo ruolo di coordinamento della filiera tecnologica aerospaziale dei Paesi Baschi, impiegano sforzi e risorse nella gestione della disseminazione tecnologia a tutti i livelli, sia in termini di sostegno economico e infrastrutturale a programmi di Ricerca e Sviluppo, sia per ciò che concerne gli incentivi di cooperazione e trasferimento tecnologico tra le realtà che animano il cluster.

#### **4.1.3 Distretto Aerospaziale di Aquitaine & Midi-Pyrénées<sup>66</sup>**

Raccogliendo 94.000 addetti in oltre 1.200 stabilimenti, impiegando 8.500 ricercatori in organismi di ricerca pubblici, contando su 3 dei 4 centri di formazione d’eccellenza francesi nel settore, il distretto aerospaziale di Midi-Pyrénées e Aquitaine, gestito dall’associazione Aerospace Valley [287], costituisce il principale polo aerospaziale europeo. Un tessuto industriale, accademico e di ricerca che può vantare la propria eccellenza a livello mondiale.

<sup>66</sup> Università degli Studi di Napoli “Federico II”.

Il territorio di insediamento di Aerospace Valley, il cosiddetto Grand Sud-Ouest francese, che comprende le regioni Aquitaine e Midi Pyrénées, raccoglie oltre 1200 stabilimenti legati alla progettazione e alla costruzione aeronautica e spaziale.

Le regioni Aquitaine e Midi Pyrénées occupano rispettivamente il 10% e il 23% degli addetti al settore aerospaziale in Francia, sfiorando nel complesso le 100'000 unità.

Il tessuto aerospaziale del Grand Sud-Ouest presenta competenze industriali che coprono tutti i passi della filiera, includendo produzione di componenti, manutenzione e testing, fornitura di servizi.

L'eccellenza del polo aeronautico di Aquitaine e Midi-Pyrénées è confermata dalla presenza, sul territorio, di numerosi leader mondiali nel settore dell'aeronautica, dello spazio, dei sistemi integrati.

Hanno infatti sede nel territorio di riferimento di Aerospace Valley:

- Airbus, ATR, Dassault Aviation e EADS Socata per la costruzione aeronautica; Alcatel, EADS Astrium, EADS Space Transportation, Zodiac International per il settore spaziale;
- Microturbo (groupe SAFRAN), SME (SNPE Matériaux Energétiques), Snecma Propulsion Solide (groupe SAFRAN) e Turbomeca (groupe SAFRAN) per la propulsione e la motorizzazione; Air France Industries, DGA per gli studi e la manutenzione;
- Roxel Propulsion Systems e Thales Airborne Systems nel campo della Difesa;
- Alstom Transport, Freescale Semiconducteurs, Rockwell Collins France, Siemens VDO Automotive e Thales Avionics per i sistemi integrati.

Alle realtà industriali di punta si affianca una rilevante schiera di produttori di componenti aerospaziali di livello internazionale, quali ad esempio Alema, Exameca, Labinal, Liebherr Aerospace, Ratier Figeac.

Completa il quadro dell'industria aerospaziale del Grand Sud-Ouest francese una fitta e dinamica rete di PMI dedicate alla subfornitura globale come alla subfornitura specializzata al servizio dei leader, le quali impiegano ad oggi, superando le 50000 unità, oltre la metà degli addetti aerospaziali dell'intera filiera.

Il fatturato aggregato annuo totalizzato dalle imprese che compongono il polo aerospaziale "Aéronautique, Espace et Systèmes embarqués" di Midi-Pyrénées e Aquitaine raggiunge attualmente 10 miliardi di euro.

#### 4.1.4 Distretto Aerospaziale di Ile-de-France<sup>67</sup>

La regione Paris Ile-de-France dispone di un tessuto industriale altamente specializzato in produzioni legate alla Difesa, in particolare per quanto riguarda applicazioni aeronautiche e spaziali. Concentrando il 35% della forza lavoro diretta e il 37,1% dei ricercatori del settore a livello nazionale, l'Ile-de-France rappresenta un sito d'eccellenza internazionale in campo aerospaziale.

In Ile-de-France, regione che si estende nell'intorno dell'area urbana di Parigi, i dipendenti direttamente legati al settore aerospaziale ammontano attualmente a circa 36.000 unità, cifra che rappresenta il 35,3% dell'equivalente nazionale e l'8,5% a livello europeo. Se a questa viene sommato il dato relativo alla manodopera aerospaziale indiretta, che si attesta intorno ad una cifra dell'ordine delle 55.000 unità, è possibile affermare che, nel complesso, sono oltre 90.000 lavoratori a contribuire alla crescita dell'industria aeronautica e spaziale nella regione Ile-de-France.

Numerose sono le realtà industriali aerospaziali di spicco, afferenti a diversi campi di applicazione, che hanno deciso di insediarsi in Ile-de-France.

Molti dei leader di livello internazionale presenti in Ile-de-France svolgono il ruolo di integratori.

È il caso di grandi costruttori di aeromobili come EADS, che raccoglie circa 10.000 addetti in Ile-de-France, e Dassault, distribuita su quattro sedi per un totale di oltre 5.000 dipendenti, ma anche di produttori di motori, come SNECMA, del gruppo Safran.

Vi sono poi le grandi realtà industriali di integrazione elettronica, molte delle quali afferenti al gruppo Safran, quali Aircelle, Hispano-Suiza, Messier, Labinal e Thalès.

Come avviene per altre realtà territoriali che costituiscono aree di eccellenza in un particolare settore tecnologico, il tessuto industriale aerospaziale di Ile-de-France si completa con una fitta rete di fornitori, specializzati per aree tecnologiche, e subfornitori.

Tra questi ultimi, il 50% dispone di almeno tre clienti leader a livello mondiale nel settore aerospaziale.

Uno studio svolto dal CROCIS (Centre Régional d'Observation du Commerce, de l'Industrie et des Services) considera i subfornitori operanti in Ile-de-France suddivisi in tre livelli decrescenti di specificità settoriale. È da notare come il 45% delle imprese in questione abbia come attività principale la produzione di parti meccaniche per applicazioni aerospaziali.

---

<sup>67</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Le piattaforme aeroportuali di rilievo presenti sul territorio sono due: l'aeroporto Roissy Charles-de-Gaulle, seconda struttura d'Europa in termini di traffico passeggeri, e l'aeroporto di Le Bourget, primo aeroporto d'Europa nell'aviazione d'affari, e sede del Salone Internazionale dell'Aeronautica e dello Spazio, con cadenza biennale.

#### *4.1.5 Distretto Aerospaziale della Baviera<sup>68</sup>*

Oltre 23.000 dipendenti nel settore, per un fatturato che arriva oggi a lambire i 5 miliardi di euro, fanno della Baviera un polo d'eccellenza per l'industria aerospaziale a livello internazionale. Su queste fondamenta BavAIRia [289], l'associazione chiamata a coordinare l'attività del distretto aerospaziale, si propone di replicare i modelli di successo dei distretti aerospaziali europei.

Le realtà industriali che animano il tessuto aerospaziale bavarese, raccogliendo 23.300 addetti, ossia il 2% della forza lavoro totale del land, superano le 60 unità. La vocazione aerospaziale della Baviera si può suddividere secondo tre principali assi di produzione, i quali contano sulla presenza di alcune realtà multinazionali leader a livello mondiale, supportate da PMI specializzate.

Il land è in primo luogo centro d'eccellenza per ciò che concerne la produzione aeronautica. A grandi gruppi come EADS, Eurocopter e MTU Aero Engines, si affiancano medie imprese quali ad esempio Diehl e Liebherr Aerospace.

Le applicazioni militari occupano un ruolo rilevante. L'assemblaggio finale dell'Eurofighter viene ad esempio effettuato nei pressi di Igelstadt, così come in Baviera sono fabbricati gli elicotteri militari NH 90 e Tiger.

La presenza in Baviera di EADS Astrium alimenta il settore spaziale, specie per la produzione di sistemi di propulsione e di navigazione. Lo sviluppo di sistemi spaziali è altresì appannaggio di alcune imprese fornitrici come MT Aerospace, Kaiser-Threde e IABG, quest'ultima sede di diversi centri di collaudo e verifica di sistemi satellitari.

Sono proprio le tecnologie di navigazione satellitare un ulteriore punto d'eccellenza della Baviera. Un importante spunto è il Galileo Satellite Navigation System, per la cui definizione impegnano i propri sforzi numerose realtà industriali, oltre a buona parte del tessuto accademico bavarese. Non a caso, per scelta dell'Unione Europea, la sede di Galileo Industries è localizzata a Ottobrunn, nell'intorno di Monaco.

---

<sup>68</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Peraltro, l'ambito delle tecnologie GMES, Global Monitoring for Environment and Security, è uno dei punti di eccellenza del tessuto industriale aerospaziale della Baviera sin dal 1998, anno di avvio della GMES Initiative.

Questa comprende attività nel campo dell'osservazione terrestre e atmosferica, delle tecnologie per l'incremento del livello di sicurezza delle infrastrutture aerospaziali e della popolazione civile.

Com'è possibile constatare, la città di Monaco funge da vero e proprio fulcro per il settore aerospaziale bavarese, raccogliendo presso la sua area la gran parte degli stabilimenti e degli organismi accademici e di ricerca.

#### **4.1.6 Distretto Aerospaziale del Baden-Württemberg<sup>69</sup>**

Nel contesto di una delle regioni economicamente più forti d'Europa si insedia un cluster aerospaziale, in parte gestito dall'associazione LRBW (Forum Luft und Raumfahrt Baden Württemberg) [290], che fa della ricerca e dei programmi di trasferimento tecnologico una delle carte vincenti per lo sviluppo territoriale.

In Baden-Württemberg, regione posta all'estremo sud-ovest della Germania, sono oltre 200 le grandi realtà industriali che fanno della costruzione aerospaziale il proprio corebusiness.

Analogamente ad altre realtà che fanno della prossimità territoriale un fattore di crescita, è possibile connotare il tessuto industriale aerospaziale del Baden-Wuerttemberg come un sistema tripartito, formato da:

- grandi gruppi industriali, spesso multinazionali, specializzati in costruzione aeronautica e spaziale, tra i quali si possono citare Liebherr, Airbus Deutschland, Zollern, EADS Astrium, Thalès, Tesat Spacecom, Schempp-Hirth, localizzati per lo più nell'area di Stoccarda;
- una serie di realtà industriali rilevanti a livello nazionale o europeo, che fungono da subfornitori "di prima fascia" dei grandi costruttori, quali ad esempio Zeiss Optronik (sistemi ottici), Behr, Bosch (componentistica), Eaton Fluid Power (idraulica), RECARO (sedili);
- una rete di PMI, la cui specializzazione nel settore aeronautico è variabile ma comunque contenuta, che ricoprono il ruolo di subfornitori "di seconda fascia".

#### **4.3 Distretto Aerospaziale delle Midlands<sup>70</sup>**

Raccogliendo 700 imprese per un totale di circa 45.000 addetti, le Midlands costituiscono uno dei più significativi cluster di imprese aerospaziali d'Euro-

---

<sup>69</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

<sup>70</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

pa e del Regno Unito. Midlands Aerospace Alliance [291], realtà che conta ad oggi oltre 320 affiliati, coagula intorno al comune interesse per l'aerospazio sia il tessuto industriale sia quello accademico.

Le realtà industriali operanti nel settore dell'aerospaziale nelle Midlands, area situata al centro del Regno Unito, e composta da due regioni, West Midlands e East Midlands, superano attualmente le 700 unità per un totale di circa 45.000 posti di lavoro.

Sono presenti quattro principali competenze nel campo della costruzione aeronautica e spaziale: motori per aeromobili, sistemi di controllo aerodinamico, metalli e materiali compositi per i sistemi aeronautici, disegno e progettazione industriale.

Hanno sede nel territorio di insediamento di Midlands Space Alliance alcuni dei maggiori attori industriali del mercato mondiale dell'aerospazio:

- Rolls Royce Aerospace, Alstom Aerospace e Roxell per ciò che riguarda i sistemi di propulsione degli aeromobili;
- Meggit (Dunlop), Goodrich Engine Controls, Goodrich Actuation Systems, Smiths Aerospace Actuation Systems, Thales Aerospace per i sistemi di controllo;
- Alcoa, Special Metals Wiggin, Timet per i materiali.

A questi si aggiunge una fitta rete di sub-fornitori, operanti in maggioranza nella regione delle West Midlands, e che comprendono circa il 75% della forza lavoro del settore, e la cui dipendenza media dal settore aerospaziale si attesta sul 54%, con punte del 70% per poco meno della metà degli stabilimenti.

Dal punto di vista della localizzazione, cruciale pare la posizione di Birmingham e dell'agglomerato West Midlands Conurbation, che conta più di 2 milioni di abitanti, nella cui area hanno sede una parte rilevante delle realtà industriali aerospaziali delle Midlands.

Molte delle imprese aerospaziali operanti nelle Midlands prendono parte a programmi aerospaziali di rilievo a livello europeo e mondiale, come il programma Eurofighter Typhoon, Airbus A380 e A 330/300, Joint Strike Fighter e Boeing 777.

#### *4.3.1 Distretto Aerospaziale di Pais Vasco<sup>71</sup>*

Con il recente sviluppo, l'industria aerospaziale Basca ha raggiunto una posizione di prevalenza a livello nazionale, rappresentando circa il 25% del

---

<sup>71</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

fatturato totale del settore aerospaziale spagnolo. Tale consolidamento è frutto di programmi di cooperazione tra le imprese, organizzate in un cluster gestito dall'associazione Hegan [288] e sostenuto dal Ministero dell'Industria Basco.

I Paesi Baschi vantano un'elevata concentrazione di imprese aerospaziali. A fronte di un territorio di estensione paragonabile a quella del Molise, arrivano infatti a 50 unità le realtà industriali operanti nel settore aeronautico e spaziale nella regione, occupando oltre 6.000 addetti in 400.000 metri quadrati di stabilimenti.

Quasi tutte le imprese aerospaziali dei Paesi Baschi vantano specializzazioni trasversali rispetto al settore. È il caso ad esempio di Sener, ITP, Aerinova, Novalti, Gamesa Aeronautica, che vantano competenze che spaziano dalla progettazione alla componentistica, fino al manufacturing e ai sistemi di equipaggiamento.

La produzione di componenti metallici vede a sua volta in prima fila imprese come Aeroteam, Technicap, Nuter, Spasa e Technasa, mentre realtà come Aratz investono una quota rilevante della loro attività nell'ingegneria dei materiali compositi.

La filiera aerospaziale dei Paesi Baschi ha raggiunto, nel suo complesso, un fatturato complessivo pari a circa 1 miliardo di Euro.

Trova attualmente impiego nei Paesi Baschi il 19% della forza lavoro del settore aerospaziale in Spagna.

#### *4.3.2 EACP – European Aerospace Cluster Partnership<sup>72</sup>*

Per competere con successo a livello globale, è diventato dunque fondamentale per l'Europa promuovere attivamente il suo potenziale innovativo e collaborare tra regioni e cluster industriali. A dieci anni dalla costituzione, l'EACP [292] è attualmente una rete di 44 cluster aerospaziali provenienti da 18 paesi europei, coprendo in gran parte la catena del valore aerospaziale in Europa.

L'industria aerospaziale sta attualmente vivendo profondi cambiamenti. Con l'ingresso sul mercato di nuovi attori come l'India, il Brasile, la Cina e la Russia, la concorrenza globale è in costante aumento. Sebbene le previsioni di crescita a lungo termine siano generalmente positive, il successo continuo può essere raggiunto solo da coloro che eccellono nello sviluppo e nell'attuazione di concetti innovativi di prodotti e servizi, in particolare per quanto riguarda

---

<sup>72</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

l'ambiente e la sostenibilità ambientale. Per servire il mercato globale e vendere prodotti tecnologicamente specializzati, la cooperazione tra aziende e intere regioni è essenziale.

EACP è stato istituito nel 2009 nell'ambito di CLUNET, un progetto PRO INNO EUROPE che non solo ha incoraggiato lo scambio di esperienze, ma ha anche sostenuto l'implementazione di progetti pilota concreti per quanto riguarda l'innovazione dei cluster e le politiche di sviluppo. Nel giro di pochi anni, EACP si è sviluppato in una partnership permanente. Anche se limitata all'industria aerospaziale, la partnership funge anche da progetto di riferimento per altri settori industriali.

Nel 2013 l'EACP è stato riconosciuto dalla Commissione europea come uno dei 13 "partenariati europei per cluster strategici" (ESCP). Con questo riconoscimento, la Commissione riconosce gli sforzi di EACP per migliorare la competitività globale sostenendo la collaborazione paneuropea e attuando strategie comuni necessarie per entrare in nuovi mercati al di fuori dell'Europa.

Con la creazione di relazioni intercluster più strette per fornire un valore aggiunto al mercato complessivo, EACP modella la relazione tra i cluster, le parti interessate del settore e i responsabili delle politiche. Inoltre, l'EACP stimola l'innovazione, con l'obiettivo di rafforzare la posizione complessiva dell'UE all'interno del mercato aerospaziale globale.

L'adesione all'EACP è aperta ai cluster aerospaziali negli Stati membri dell'Unione Europea e dei paesi adiacenti. Per essere ammesso alla rete, un membro deve rappresentare tutti i segmenti del settore aerospaziale regionale, compresi l'industria, la R&S e gli enti amministrativi. L'EACP opera prevalentemente nel comparto dell'aviazione civile.

Gli obiettivi del consorzio sono perseguiti in tre principali campi d'azione:

- Scambio di conoscenza: Cluster Excellence, Funding Schemes, Role of Clusters.

Per consentire lo scambio di conoscenze tra cluster, presentazioni e discussioni sulle "migliori pratiche" sono condotte in occasione di riunioni regolari del CPE. La partecipazione al Partenariato europeo per i cluster strategici (ESCP) consente lo scambio di esperienze e conoscenze riguardanti gli sviluppi economici, politici e sociali che interessano l'industria aerospaziale e altri settori industriali. Pertanto, i cluster regionali non sono solo preparati per possibili sviluppi futuri, ma lavorano anche per promuovere l'eccellenza. Al fine di ottimizzare l'uso dei programmi di finanziamento da parte del gruppo di stati membri, i bandi regionali, nazionali e dell'UE sono costantemente

monitorati e valutati. In stretta connessione a questo, le informazioni riguardanti le strategie di specializzazione intelligente regionali vengono affinate e diffuse ai cluster.

- Spinta all'innovazione: Skill & qualification, EU projects, Connect member clusters.

Il secondo obiettivo principale è lo sviluppo di competenze e qualifiche tra la forza lavoro aerospaziale esistente e futura. Ne sono un esempio il progetto Skills Hub e la creazione di altri progetti dell'UE che mirano specificamente all'innovazione tecnologica, come CARE e BeAware o CANNAPE. Questi e altri progetti sono integrati da eventi di match-making EACP, come parte dei quali EACP unisce attori dell'industria e della R&S per sviluppare nuove idee necessarie per migliorare la tecnologia, i prodotti e i processi. Tra le altre cose, EACP sostiene attivamente le opportunità di avviare la cooperazione B2B, come AEROMART, la piattaforma europea di collaborazione sui cluster (ECCP), le missioni dell'UE per la crescita e la rete Enterprise Europe (EEN).

- Rafforzamento della posizione dell'Europa: Internationalisation, Supply chain infrastructure, Global competitiveness.

Il terzo obiettivo principale costituisce una serie di attività legate alla continua internazionalizzazione dei gruppi membri, delle loro regioni e delle imprese residenti. Un fattore cruciale in questo senso è lo sviluppo di una catena di approvvigionamento aerospaziale competitiva nell'UE. I problemi Specifici devono essere monitorati e integrati nella tabella di marcia dell'UE in concorrenza in tutta la tecnologia. Al fine di migliorare la competitività globale dell'UE nel settore aerospaziale, è prevista una valutazione strategica dei settori tecnologici futuri e collaborazioni con attori strategici. In questo modo, EACP supporta anche gli efforts di altre istituzioni come ASD, ACARE, CleanSky, EASN, Sesare ed EEN.

EACP si impegna inoltre a migliorare la collaborazione internazionale con partner esterni all'Europa. Numerosi partner provenienti da altre parti del mondo come il Canada, gli Stati Uniti d'America, il Brasile, la Russia, il Giappone e la Cina sono coinvolti negli efforts internazionali della rete. EACP supporta le missioni aziendali da e verso queste regioni, in parte all'interno della piattaforma europea di collaborazione sui cluster e dell'iniziativa Mission for Growth come uno dei partenariati europei per i cluster strategici.

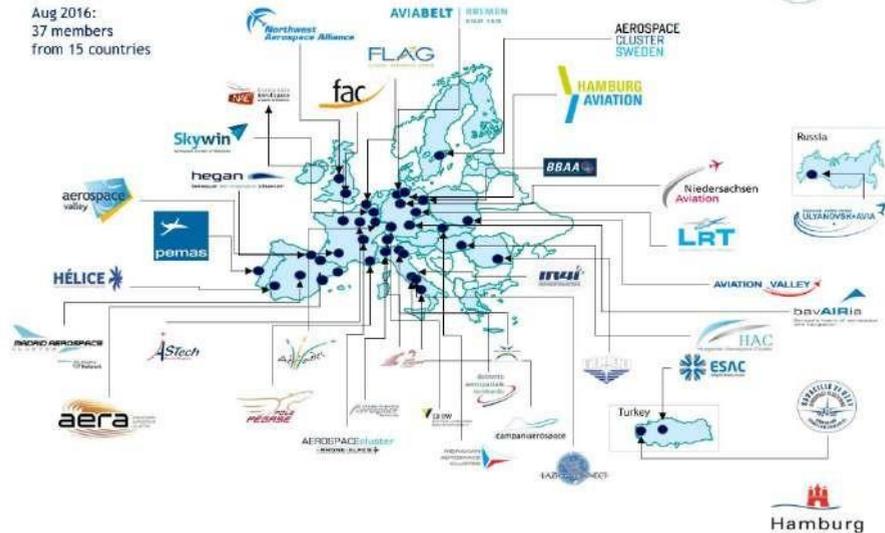


Figura 35 – 18 Membri dell'EACP al 2016.

#### 4.4 Associazioni Industriali Nazionali e Comunitarie in Aeronautica<sup>73</sup>

Tra le associazioni industriali nazionali, l'Associazione Italiana di Aeronautica e Difesa AIAD [293] è la Federazione, membro di Confindustria, in rappresentanza delle Aziende Italiane per l'Aerospazio, la Difesa e la Sicurezza.

Accoglie nel proprio ambito la quasi totalità delle imprese nazionali ad alta tecnologia che esercitano attività di progettazione, produzione, ricerca e servizi nei comparti: aerospaziale civile e militare, comparto navale e terrestre militare e dei sistemi elettronici ad essi ricollegabili. L'AIAD mantiene stretti e costanti rapporti con organi e istituzioni nazionali, internazionali o in ambito NATO al fine di promuovere, rappresentare e garantire gli interessi dell'industria che essa rappresenta.

Significativa l'attività svolta a riguardo dal NIAG (NATO Industrial Advisory Group).

<sup>73</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

L'AIAD è membro, in rappresentanza dell'industria italiana, dell'equivalente Associazione Europea (ASD). In questo contesto è l'interfaccia di riferimento di tutte le Istituzioni nazionali ed estere per il coordinamento di ogni iniziativa in cui ci sia necessità di rappresentare gli interessi nazionali del comparto.

Redige e presenta rapporti e posizioni industriali ai vari dicasteri governativi e ad ogni altra organizzazione istituzionale estera.

Fornisce un significativo contributo allo sviluppo di piani di settore da elaborarsi a cura degli organi della Difesa e/o di altre Amministrazioni dello Stato in materia di: Ricerca e Innovazione; Normative procedurali, tecniche e contrattuali.

È inoltre attivo un presidio fisso della Federazione presso ICE-Agenzia, sede di Roma, attraverso il quale vengono monitorate e coordinate le attività a sostegno dell'internazionalizzazione delle imprese nei settori di competenza.

L'AIAD, coordina numerosi gruppi di lavoro in ambito nazionale ed internazionale, promuove l'organizzazione di eventi seminariali e congressuali e raccoglie i resoconti statistici sull'andamento dei maggiori indicatori economici. È inoltre interprete di una intensa attività promozionale all'estero per coordinare in maniera aggregata la partecipazione italiana alle più importanti manifestazioni internazionali e per organizzare e coordinare la missione all'estero delle nostre imprese ma anche la visita in Italia di delegazioni estere.

L'AIAD fornisce attraverso UNAVIA un sostegno alle attività di Normazione e Formazione. È Socio Promotore del Cluster Tecnologico Nazionale Aerospazio (CTNA).

A livello Europeo, l'Aerospace and Defence Industries Association of Europe (ASD) [294] rappresenta oltre 3.000 aziende e sostiene attivamente lo sviluppo competitivo del settore in Europa e nel mondo. Ha membri diretti, attivi in 18 paesi, tra cui 17 grandi industrie europee e 23 associazioni nazionali. I membri ASD insieme danno impiego a più di 864.000 persone e hanno generato un fatturato di 228,5 miliardi di dollari nel 2017.

A beneficio delle industrie europee e nell'interesse collettivo dei suoi membri, ASD cerca di:

- agire come un'unica voce per promuovere gli interessi dell'industria in sinergia con le istituzioni dell'UE e altre parti interessate;
- contribuire a formare politiche e legislazioni efficaci a livello europeo e globale;
- promuovere la cooperazione internazionale e il dialogo con altre associazioni e organizzazioni internazionali;

- sensibilizzare sui vantaggi dell'aerospazio e difesa l'opinione pubblica, i politici, i decisori, le imprese, i media, etc.;
- fungere da hub centrale di intelligence per le conoscenze di esperti su questioni legate al settore.

ASD ha associazioni affiliate: ASD-STAN e ASD-CERT, insieme a EAQG, formano i servizi relativi alla qualità di ASD. Lo scopo di questi servizi è quello di contribuire al miglioramento della qualità e alla riduzione dei costi in tutto il flusso di valore, mantenendo la cooperazione tra le imprese aerospaziali europee nelle aree di attività.

A livello globale, ASD è membro dell'International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations (ICCAIA). ICCAIA offre ai produttori aerospaziali di tutto il mondo la strada per offrire la loro esperienza nel settore allo sviluppo degli standard e delle normative internazionali necessari per la sicurezza e la sicurezza del trasporto aereo. Riconosciuto dall'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile (ICAO) con status di osservatore, ICCAIA partecipa attivamente ai lavori dell'ICAO per quanto riguarda l'ambiente, la navigazione aerea e le questioni del trasporto aereo. L'ICCAIA interagisce anche con autorità di regolamentazione come l'Agenzia europea per la sicurezza aerea (EASA) e la Federal Aviation Administration (FAA) degli Stati Uniti.

#### **4.5 Enti di Vigilanza<sup>74</sup>**

Il comparto aeronautico è regolato da alcuni enti di vigilanza e controllo. Il confronto con questi Enti, anche in ambito ricerca e sviluppo, non può essere ignorato nello sviluppo di una nuova tecnologia o di un nuovo prodotto. A livello Europeo due sono gli Enti di maggiore rilievo sono EASA ed EUROCONTROL.

L'Agenzia europea per la sicurezza aerea [295] (o EASA, European Aviation Safety Agency) è l'organo di controllo del settore aeronautico dell'UE.

Il trasporto aereo, e di conseguenza l'industria aeronautica, non possono prescindere da tematiche come qualità, sicurezza e tutela ambientale che debbono essere recepite ed attuate per esempio attraverso l'adozione di nuove normative e organismi sia di carattere nazionale che sovranazionale.

L'impegno a perseguire questi obiettivi si è manifestato in Europa con la creazione, nel 1970, delle Joint Aviation Authorities (Autorità Aeronautiche Congiunte o JAA) organizzazione che raggruppa paesi con il comune

---

<sup>74</sup> Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".

obiettivo di cooperare e sviluppare normative congiunte a livello europeo per migliorare la qualità e la sicurezza del trasporto aereo. Nata inizialmente per creare codifiche di certificazione comuni di aeromobili e motori per l'industria europea (in particolare per i prodotti del consorzio internazionale Airbus), le JAA, dal 1987 in poi, hanno esteso le proprie competenze fino alla creazione di norme comuni per gli aspetti manutentivi, di certificazione e progettazione dei prodotti aeronautici.

La normativa Joint Aviation Requirements 145 (Requisiti Aviazione Congiunti 145 o JAR 145), entrata in vigore nel 1992 e riguardante l'attività di manutenzione per velivoli impiegati nel trasporto pubblico, ne costituisce un esempio.

La volontà di uniformare ed armonizzare ulteriormente queste materie ha condotto gli stati membri dell'Unione europea all'idea di costituire un organismo indipendente, dotato di personalità giuridica e poteri propri, in grado di rispondere a tali aspettative. Gli stati membri hanno percepito la necessità di fornire all'aviazione civile europea regole comuni concernenti i livelli di sicurezza, gli standard di qualità, la compatibilità ambientale, ma anche la circolazione di merci e servizi e la cooperazione con paesi terzi.

Questo processo, concretizzatosi il 15 luglio 2002, con la pubblicazione del Regolamento (CE) n. 1592/2002 sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, segna la creazione di tali regole e la nascita dell'European Aviation Safety Agency (Agenzia europea per la sicurezza aerea o EASA), con sede a Colonia in Germania. Il regolamento 1592/2002, poi aggiornato e sostituito dalla 216/2008, definito Basic Regulation (regolamento base) è costituito da due regolamenti di secondo livello che ne illustrano le relative modalità attuative. Questi due regolamenti, il 1702/2003 e il 2042/2003, chiamati Implementation Rules (regole di implementazione) sono costituiti da un articolato e da uno o più documenti chiamati Parts (parti). Nell'articolato vengono definiti campo di applicazione, obiettivi periodi di transizione con la normativa vigente (JAR) e date di entrata in vigore. Le parti, suddivise in due sezioni, illustrano rispettivamente i requisiti che devono essere soddisfatti dai soggetti aeronautici (sezione A) e le procedure che devono essere seguite dalle autorità competenti (sezione B).

EUROCONTROL [296] è un'organizzazione intergovernativa, civile e militare cui partecipano 41 Stati europei e di Paesi limitrofi e il cui scopo principale è di sviluppare e mantenere un efficiente sistema di controllo del traffico aereo a livello europeo, affiancando in questo impegno comune le autorità nazionali dell'aviazione civile (in Italia l'ENAC), gli enti ed i soggetti fornitori dei servizi di controllo del traffico aereo (in Italia ENAV e l'Aeronautica

Militare), gli utenti dello spazio aereo civile e militare, il settore industriale, le organizzazioni professionali e le competenti istituzioni europee.

Nasce con la EUROCONTROL Convention del 13 dicembre 1960, successivamente emendata il 12 febbraio 1981 (Amended Convention) e successivamente rivista il 27 giugno 1997 (Revised Convention). In attesa della ratifica della Revised Convention del 1997, gli Stati membri EUROCONTROL hanno deciso di ritenersi comunque vincolati dalle sue disposizioni.

EUROCONTROL produce regolamentazione tecnica sulla sicurezza del traffico aereo. Una convenzione tra gli Stati membri ha creato una commissione indipendente, la Safety Regulation Commission (SRC) per produrre rapporti ed avvisi per migliorare la sicurezza del controllo del traffico aereo e per proporre l'adozione di regolamenti denominati Eurocontrol Safety Regulatory Requirements (ESARR).

EUROCONTROL gestisce il Network Manager Operations Centre (NMOC) (precedentemente denominato Central Flow Management Unit (CFMU)), una unità finalizzata ad armonizzare i piani di volo che riguardano l'Europa, con lo scopo di minimizzare i ritardi e garantire la sicurezza del traffico aereo. Gestisce inoltre il Central Route Charges Office (CRCO), ovvero l'ufficio che armonizza e riconcilia la fatturazione dei servizi, tra i soggetti deputati al controllo del traffico aereo, che comunque vengono fatturati dai singoli operatori nazionali alle compagnie aeree. EUROCONTROL gestisce numerosi programmi e progetti che interessano i diversi Stati membri, con l'obiettivo di minimizzare i costi di sviluppo, creando sistemi e procedure efficienti e condivisi. Il principale programma è il Single European Sky.

In Italia ENAV [297] è una società per azioni che opera come fornitore in esclusiva di servizi alla navigazione aerea civile nello spazio aereo di competenza italiana (ANSP, air navigation service provider). La società è controllata dal Ministero dell'economia e delle finanze (53,37% del capitale sociale a dicembre 2016) ed è sottoposta alla vigilanza dell'Ente nazionale per l'aviazione civile (ENAC) [298] e del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti. ENAV era l'acronimo di Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo che la società ha adottato come propria denominazione sociale dopo la trasformazione da Ente pubblico economico a SpA, avvenuta nel 2001.

## **5. Il Potenziale Produttivo della Regione nelle aree della RIS3<sup>75</sup>**

L'analisi presentata in questo capitolo ha come obiettivo di censire le aziende che operano nella Regione Campania sulle tematiche individuate dalla RIS3 Campania nell'area di specializzazione "Aerospazio".

In Campania la filiera produttiva aerospaziale ricopre un ruolo di particolare importanza come elemento di sviluppo, sia per la presenza industriale, sia per l'elevato contenuto delle conoscenze tecnologiche richieste dai processi produttivi. A titolo d'esempio, si tenga presente che uno studio condotto da Studi e Ricerche per il Mezzogiorno, già nel 2011, ha evidenziato che la Regione Campania è seconda in Italia, dietro soltanto alla Lombardia e prima per numero di dipendenti, 8404 contro 8217 della Lombardia. Inoltre, la Campania da sola esprime una quota di mercato del 22%, contro il 24% della Lombardia. Ciò ha determinato l'opportunità della costituzione, nel 2012, del Distretto Aerospaziale della Campania (DAC), con il preciso obiettivo di stimolare la collaborazione tra Centri di Ricerca, Università e Aziende per creare concrete opportunità di business e continue occasioni di crescita e innovazione in un territorio fortemente rivolto all'aerospazio. Il DAC ha quindi messo a punto uno studio di fattibilità fondato su nove programmi strategici, che è stato approvato dal Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca con il massimo punteggio. Questi progetti hanno rappresentato l'inizio del percorso strategico (in termini di ricerca, formazione e sviluppo) che il DAC sta perseguendo con la partecipazione a progetti europei e nazionali.

### **5.1 Analisi delle metodologie per il censimento e l'analisi delle aziende della Regione Campania**

Ai fini della ricerca, si è presentata la necessità di individuare non solo le aziende la cui attività di produzione e/o fornitura di servizi si riferisse direttamente a una delle tematiche centrali della RIS3 nell'area di specializzazione "Aerospazio" (si veda il Capitolo 2), ma anche quelle focalizzate su attività in qualche modo affini a tali tematiche e quindi potenzialmente interessati a processi innovativi in quest'area.

---

<sup>75</sup> Università degli Studi di Napoli "Parthenope" e Università degli Studi di Salerno.

Il censimento si è basato su diverse fonti. Prima di tutto le banche dati dei Progetti di Ricerca finanziati nell'ultimo lustro: questo ha permesso di individuare, impostando il filtro di ricerca sulle tematiche della RIS3 "Aerospazio", una serie di medie e grandi aziende.

Il campione è stato arricchito estraendo dal Registro Imprese, realizzato da InfoCamere per conto delle Camere di Commercio italiane, l'elenco delle Società afferenti al Distretto Tecnologico Aerospaziale della Campania.

Infine, sulla base dell'esperienza e dei contatti pregressi intrecciati dai partner incaricati e coinvolti nel Progetto, è stato possibile estendere ulteriormente in modo significativo la base di ricerca, facendo confluire nella banca dati anche aziende altrimenti omesse, soprattutto quando le attività centrali non fossero direttamente collegate alle tematiche di specializzazione "Aerospazio", ma vi rientrassero per affinità.

Per eseguire l'analisi è stata elaborata una scheda per la raccolta di informazioni relative alle aziende. Il contenuto della scheda può essere sintetizzato nei punti seguenti:

- Dati introduttivi relativi all'organizzazione: questa voce riassume brevemente le motivazioni che hanno determinato l'inclusione dell'azienda nel campione, mettendo in evidenza la connessione diretta o indiretta con le tematiche centrali del Documento RIS3 "Aerospazio";
- Dati identificativi dell'azienda: questa voce, suddivisa in più campi, raccoglie denominazione, ragione sociale, sede legale, indirizzi e recapiti;
- Attività e progetti di ricerca svolti recentemente all'interno del settore aerospaziale. Vengono altresì presentati i progetti di ricerca nei quali l'azienda è stata coinvolta negli ultimi anni evidenziando nel dettaglio l'obiettivo del progetto e le attività svolte dall'azienda.
- Dati su dipendenti e fatturato: questa voce associa a ciascuna unità campionata una variabile quantitativa, così da introdurre un carattere numerico per le successive suddivisioni in classi e le rappresentazioni grafiche dei risultati;
- Inquadramento dell'organizzazione relativamente alle tematiche della RIS3: in questa voce vengono esplicitate, scheda per scheda, le connessioni fra le attività delle aziende censite e le tematiche centrali del documento RIS3 nell'area di specializzazione "Aerospazio".

Le informazioni per la compilazione della scheda, ove non rese disponibili direttamente dalle aziende, sono state ottenute dalle seguenti fonti:

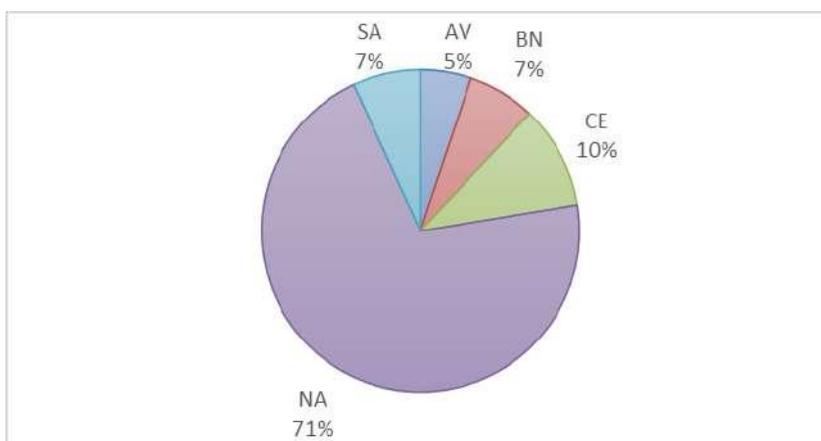
- Sito internet ufficiale dell'azienda
- Banca dati CORDIS

- Banca dati del Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca Scientifica
- Banca dati del Ministero dello Sviluppo Economico
- Archivi del sito "Reportaziende.it" che utilizza il database di *Consodata*
- Archivi del sito "Impresaitalia.info"

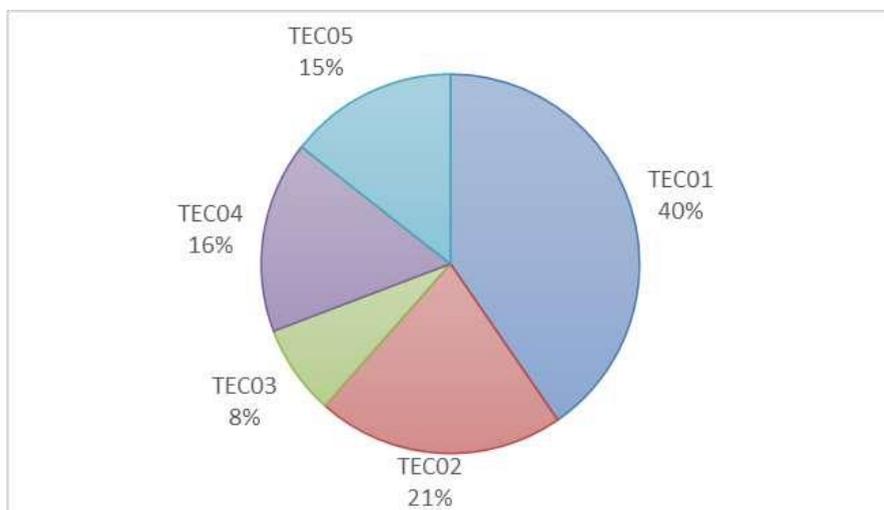
## 5.2 Sintesi dei Risultati

La ricognizione effettuata secondo i principi esposti nella sezione precedente ha permesso di individuare 55 aziende operanti sul territorio della Regione Campania sulle tematiche del documento RIS3 nell'area di specializzazione "Aerospazio". Ove non è stato possibile reperire le informazioni previste in una specifica voce dalla scheda di raccolta dati, l'azienda non è stata rappresentata nella sintesi di quella voce specifica.

Le informazioni raccolte sono rappresentate in forma grafica per una lettura aggregata dei dati raccolti. Dalla ricerca emerge prima di tutto che nella sola provincia di Napoli si concentra il 70% delle aziende censite (**Figura 36**), il che evidenzia anche che il contributo non è equamente ripartito per provincia. Anche in merito alle tematiche di interesse, nonostante siano tutte in qualche modo rappresentate a dimostrazione dell'impegno trasversale delle aziende sulle tematiche del Documento nell'area di specializzazione "Aerospazio" (**Figura 37**), la distribuzione per ambito non è uniforme.



**Figura 36** – Ripartizione per provincia, delle aziende impegnate nell'area di specializzazione "Aerospazio".



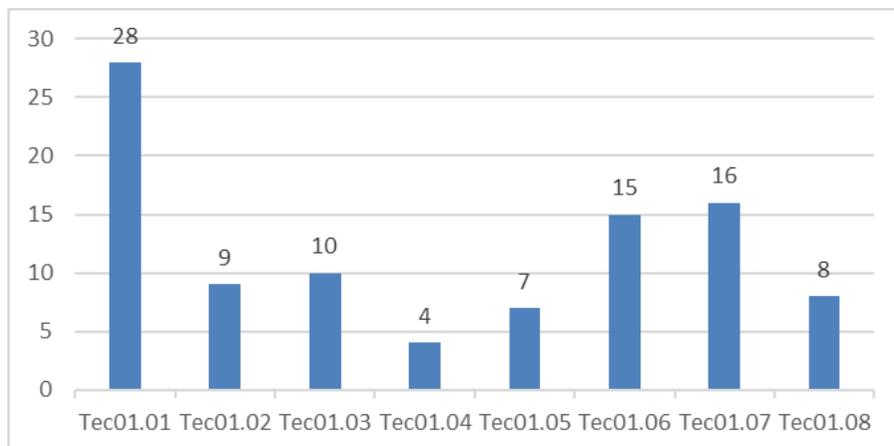
**Figura 37** – Ripartizione per ambito tecnologico, delle aziende impegnate nell’area di specializzazione “Aerospazio”.

Si ritiene opportuno anche riflettere sulla ripartizione delle traiettorie tecnologiche prioritarie in ogni ambito, per individuare eventuali criticità su aree non coperte dalle aziende censite. Si ricavano così i grafici, qui riportati in forma di diagrammi a barre, per le specializzazioni di ogni ambito, con riferimento alle tematiche come assegnate nel Deliverable precedente.

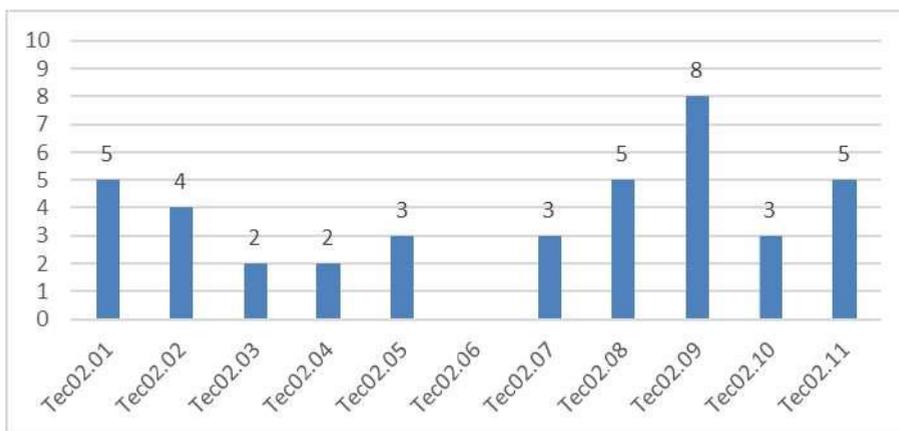
Con riferimento all’ambito denominato “Metodologie, processi e sistemi per nuove configurazioni e componenti per il volo” (**Figura 38**), le traiettorie tecnologiche più rappresentate per numero di aziende direttamente o indirettamente coinvolte fra quelle censite, riguardano lo sviluppo di metodologie per l’integrazione dei componenti strutturali (Tec01.01), le tecniche di fabbricazione basate su Additive Layer Manufacturing e tecniche di ripristino avanzate (Tec01.06), nonché le azioni finalizzate allo sviluppo della Fabbrica 4.0 (Tec01.07).

Con riferimento all’ambito denominato “Sistemi di bordo, comunicazioni e sistemi per la difesa” (**Figura 39**), la traiettoria tecnologica più rappresentata per numero di aziende direttamente o indirettamente coinvolte fra quelle censite, riguarda *virtual design* e test nell’ambito delle fasi di qualifica e omologazione (Tec02.09); vale la pena osservare che trova potenziale applicazione in tre casi anche la traiettoria tecnologica inerente sistemi di interazione uomomacchina ergonomica nella gestione dei velivoli (Tec02.10), giudicata non perseguibile nel breve periodo. Non si riscontra invece attuale interesse aziendale

per la tematica inerente alla visione sintetica ed aumentata per la navigazione avanzata (Tec02.06).



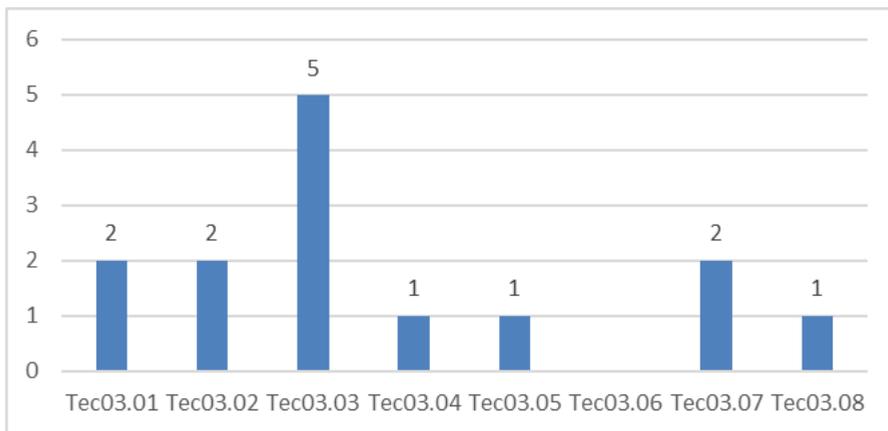
**Figura 38** – Ripartizione delle traiettorie tecnologiche prioritarie nell’ambito Tec01 denominato “Metodologie, processi e sistemi per nuove configurazioni e componenti per il volo”.



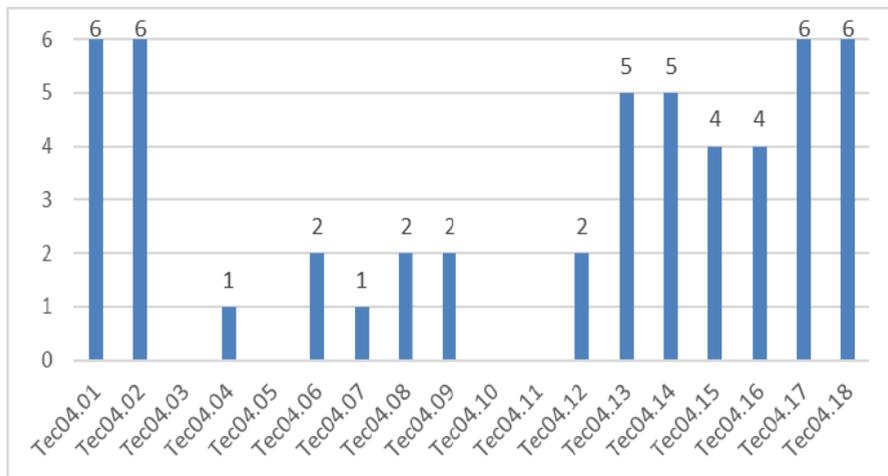
**Figura 39** – Ripartizione delle traiettorie tecnologiche prioritarie nell’ambito Tec02 denominato “Sistemi di bordo, comunicazioni e sistemi per la difesa”.

Con riferimento all’ambito denominato “Propulsione ed efficienza energetica” (Figura 40), si evidenzia leggera prevalenza della traiettoria tecnologica su sistemi propulsivi ibridi (Tec03.03). Tuttavia, anche per questo ambito, vale

la pena osservare che trovano potenziale applicazione in diversi casi anche traiettorie tecnologiche giudicate non perseguibili nel breve periodo, in particolare quelle inerenti sistemi di controllo della potenza (Tec03.04), i sistemi secondari di produzione e distribuzione (Tec04.05). Si conferma senza riscontro la tecnologia per sviluppo di *riblets* per il miglioramento dell'efficienza aerodinamica (Tec03.06).



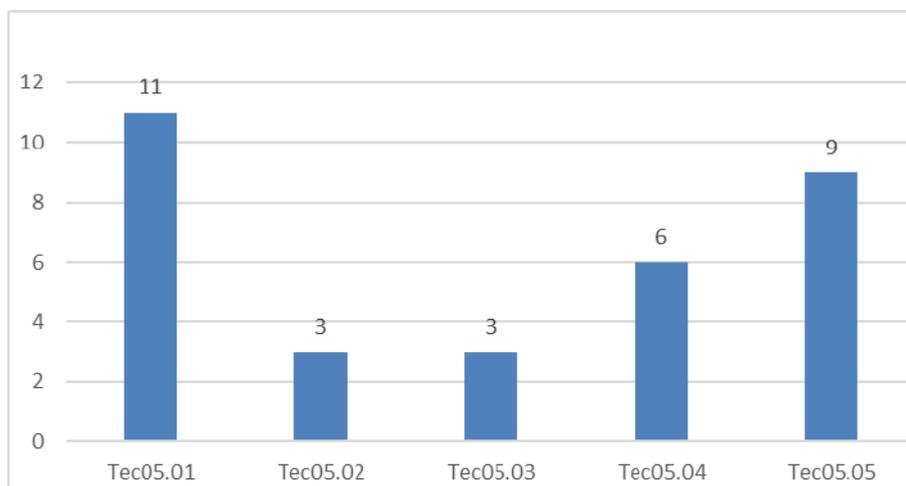
**Figura 40** – Ripartizione delle traiettorie tecnologiche prioritarie nell'ambito Tec03 denominato "Propulsione ed efficienza energetica".



**Figura 41** – Ripartizione delle traiettorie tecnologiche prioritarie nell'ambito Tec04 denominato "Tecnologie per lo spazio".

L'ambito più vasto per numero di traiettorie tecnologiche che vi afferiscono è quello denominato "Tecnologie per lo spazio" (**Figura 41**). Si evidenziano tre traiettorie tecnologiche principalmente rappresentate, ovvero quelle inerenti micro piattaforme satellitari multi-purpose (Tec04.01), tecnologie abilitanti per l'aviazione (Tec04.02), tecnologie innovative e strumenti per l'osservazione della terra (Tec04.17) e sistemi integrati innovativi a costo e peso ridotto per il controllo del traffico aereo (Tec04.18); si osservi che alcune traiettorie tecnologiche già giudicate non perseguibili, effettivamente non hanno riscontro sul territorio regionale.

Infine, con riferimento all'ambito denominato "Propulsione ed efficienza energetica" (**Figura 42**), le traiettorie tecnologiche prevalenti risultano quelle inerenti Intelligent Health Monitoring & Management Systems (Tec05.01) e tecniche di intelligenza artificiale per il supporto al sistema decisionale (Tec05.05); si segnala riscontro per la traiettoria tecnologica inerente tecnologie ITC (Tec05.03), giudicata non perseguibile nel breve periodo.



**Figura 42** – Ripartizione delle traiettorie tecnologiche prioritarie nell'ambito Tec05 denominato "Health management e manutenzione di strutture e sistemi".

## 6. Valutazione dei Risultati della Ricerca e Priority Setting<sup>76</sup>

La presente sezione è dedicata all'analisi dei principali indicatori e metodi utilizzati per la valutazione della ricerca applicata con riferimento al settore aerospaziale. In particolare, il principale obiettivo è quello di individuare un set di *best practices* (e.g. modelli, metodologie, strumenti, approcci, protocolli etc.) capaci di supportare, in modo efficace ed efficiente, i policy-maker nei processi decisionali circa l'allocazione di risorse finanziarie tra le diverse linee di ricerca.

Numerosi studi, infatti, hanno dimostrato come la ricerca scientifica (sia di base che applicata) sia il principale driver del progresso sociale, tecnologico ed economico di un Paese/Territorio. Per tale ragione, sempre più, i governi nazionali e locali mirano a sfruttare la ricerca scientifica per supportare l'innovazione, lo sviluppo socioeconomico e la propria capacità competitiva a livello internazionale.

È importante, comunque, sottolineare che l'investimento pubblico in ricerca, sia essa di base o applicata, dovrebbe prevedere sempre un ritorno sempre con rilevanti differenze. Con riferimento alla ricerca di base, la produzione economica non è l'obiettivo principale, che è, invece, l'avanzamento della conoscenza stessa nel settore di riferimento. Al contrario, il finanziamento alla ricerca applicata mira alla massimizzazione del ritorno sugli investimenti. In altre parole, gli enti pubblici investono nella ricerca applicata con l'obiettivo di stimolare l'economia locale, creare nuovi posti di lavoro, far crescere i profitti delle aziende, migliorare il tessuto socioeconomico del territorio. Nel perseguimento di questi obiettivi, i governi aspirano a derivare la massima utilità dai fondi pubblici investiti in attività di ricerca e a dirigere e coordinare la ricerca nel modo più efficiente ed efficace possibile.

A tal proposito, sono stati analizzati i principali strumenti e indicatori utilizzati a livello Europeo per la valutazione degli impatti sociali ed economici dei progetti di ricerca finanziati. Tale attività ci ha permesso di capire lo stato dell'arte degli strumenti valutativi e, soprattutto, comprendere i possibili trend futuri. Sulla base dei risultati ottenuti in questa prima fase di analisi, si è passati alla definizione di un possibile insieme di indicatori e metodi che gli Enti Locali, considerate anche le peculiarità del nostro Territorio, potrebbero

---

<sup>76</sup> Università degli Studi di Napoli "Federico II".

adottare per valutare l'impatto dei finanziamenti erogati in ambito aerospaziale.

## 6.1 I principali indicatori adottati in letteratura

L'analisi dei sistemi di valutazione della ricerca ha evidenziato il forte dinamismo che sta caratterizzando tale attività negli ultimi anni. È importante, infatti, sottolineare come sempre più gli studi dimostrino l'orientamento dei policy-maker verso lo sviluppo di processi valutativi basati su indicatori qualitativi, piuttosto che quantitativi (*metrics-only approach*), perché ritenuti capaci di misurare efficacemente l'impatto della ricerca e quindi dei fondi pubblici investiti in attività di R&D [299], [300] sul Territorio di riferimento. Numerosi lavori scientifici dimostrano come il valore della ricerca finanziata con fondi pubblici debba sempre più essere concepito non solo in termini di "utilità", "commercializzazione" e "creazione di ricchezza", ma deve tener conto anche degli impatti sociali, ambientali e culturali che questa può avere su diversi attori quali cittadini, imprese, università, centri di ricerca, e così via [301].

Come già sottolineato precedentemente, vi sono importanti differenze tra ricerca di base e applicata rispetto non solo alle caratteristiche e agli obiettivi, ma soprattutto in termini di indicatori e metodologie adottate per la valutazione degli impatti derivanti. In particolare, per la ricerca di base i principali indicatori utilizzati sono [299], [302]–[304] i) numero di pubblicazioni realizzate su *peer reviewed journal*, ii) numero di citazioni, iii) *esteem indicators* (e.g. premi, reputazione del ricercatore, *visiting fellowship*, partecipazione ad editorial board etc.), iv) H-index del ricercatore, v) numero di collaborazioni avviate. In base all'unità di analisi da valutare (e.g. Ente di ricerca, gruppo di ricerca o singolo ricercatore) si sceglieranno gli indicatori e gli approcci metodologici più adeguati.

Con riferimento alla ricerca applicata finanziata con fondi pubblici e privati, seguendo la definizione proposta dal DEST [301] nella Tabella 6 sono mostrati i principali indicatori quantitativi utilizzati (o le relative possibili proxy) divisi in 4 categorie [299]–[301], [305]–[308].

Gli indicatori mostrati in Tabella 6 sono di tipo quantitativo, ma in generale vi è una tendenza verso lo sviluppo e l'implementazione di processi valutativi basati su indicatori qualitativi perché ritenuti capaci di valutare meglio l'impatto della ricerca. L'utilizzo di indicatori qualitativi richiede l'adozione di protocolli di valutazione ben precisi al fine di ridurre la probabilità che la rilevazione sia influenzata dal comportamento dell'intervistatore, inficiando la bontà e affidabilità del risultato.

Tipologia indicatori quantitativi	Proxy
<b>Indicatori economici</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incremento Prodotto Interno Lordo (PIL),</li> <li>- Incremento tasso occupazione/riduzione tasso disoccupazione,</li> <li>- Aumento profitto imprese,</li> <li>- Aumento salari lavoratori,</li> <li>- Numero nuove imprese (PMI, startups, spin-off etc.),</li> <li>- Numero brevetti o altri strumenti per la tutela della proprietà intellettuale (e.g. marchi, logo, etc.) e relative citazioni,</li> <li>- Numero nuovi laboratori di ricerca,</li> <li>- Numero nuove collaborazioni con imprese,</li> <li>- Sviluppo e Commercializzazione di nuovi prodotti, nuove tecnologie, e nuovi processi,</li> <li>- Miglioramento dei processi produttivi (possibili proxy: Riduzione costi di produzione, Aumento quantità prodotta)</li> <li>- Numero di accordi commerciali,</li> <li>- Aumento attrattività di ulteriori fondi da investire in R&amp;D (possibile proxy variazione dell'ammontare complessivo di finanziamenti R&amp;D)</li> <li>- Aumento del numero di "talenti" impiegati presso aziende e/o università</li> </ul>
<b>Indicatori sociali</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Miglioramento della qualità della vita in senso ampio (possibili proxy: riduzione criminalità, aumento velocità comunicazioni, riduzione digital divide, incremento facility e utility etc.)</li> <li>- Miglioramento benessere sociale anche in termini di aumento di attività culturali (possibili proxy: numero exhibitions, performance, eventi etc.)</li> <li>- Miglioramento delle condizioni lavorative (possibili proxy: riduzione numero di ore lavorative settimanali, flessibilità, etc.)</li> <li>- Miglioramento dei processi di knowledge and technology transfer (possibili proxy: nuovi uffici di trasferimento tecnologico o per assessment tecnologico, ritorni economici derivanti dalla creazione di nuovi prodotti)</li> </ul>
<b>Indicatori ambientali</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riduzione dell'inquinamento,</li> <li>- Riduzione dell'uso di risorse naturali e scarse.</li> </ul>
<b>Indicatori culturali</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Numero di visitatori a mostre, open day, workshop,</li> <li>- Numero di presenze per performance,</li> <li>- Diffusione dei media</li> </ul>

Tabella 6 – Tipologia indicatori quantitativi.

## 6.2 Principali metodologie adottate nella valutazione dei progetti di ricerca applicata

In letteratura, i principali approcci metodologici utilizzati per valutare l'impatto della ricerca finanziata con fondi pubblici sono [304] modelli econometrici; 2) survey; e 3) casi di studio.

I modelli econometrici permettono di analizzare una gran quantità di dati, sono efficaci nel fornire un quadro aggregato delle regolarità statisti-

che, facilitano il confronto tra paesi e contesti diversi, consentono di stimare l'effetto di ciascuna variabile considerata sul tasso di ritorno della Ricerca e Sviluppo. I risultati possono, tuttavia, essere fuorvianti. In particolare, gli approcci econometrici si basano su ipotesi semplicistiche e spesso non realisti che circa l'innovazione, sempre più considerata un fenomeno complesso [309]. Le survey sono impiegate per investigare la capacità dei finanziamenti pubblici di stimolare e supportare l'innovazione. Quest'ultimo metodo soffre comunque di numerose limitazioni. In particolare, le survey richiedendo la realizzazione di interviste agli attori chiave del processo considerato per la raccolta dei dati, si basano su dei giudizi personali degli intervistati e, pertanto, i risultati derivanti potrebbero essere maggiormente soggetti ad un errore sistematico. I casi di studio sono lo strumento migliore per esaminare direttamente il processo di innovazione e i benefici diretti ed indiretti derivanti. Tuttavia, i casi studio sono costosi da amministrare e richiedono molto tempo per analizzare e produrre solo un'immagine limitata della realtà.

I metodi econometrici richiedono l'utilizzo di dati ed indicatori quantitativi, invece le survey e i casi di studio permettono l'elaborazioni sia di indicatori quantitativi, sia qualitativi.

In generale, i metodi qualitativi prevedono l'impiego di un panel di esperti (peer reviewer) per la valutazione degli impatti della ricerca applicata in ambito aerospaziale [310].

Il primo metodo analizzato è il Payback model [311]. Tale modello permette di misurare sia la qualità della ricerca che il suo impatto sulla società. In particolare, si basa sull'utilizzo di quattro indicatori qualitativi e di un indicatore quantitativo per valutare diverse tipologie di impatti derivanti dalle attività di R&D (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). L'unico indicatore quantitativo (A - Knowledge) si basa sull'utilizzo di indicatori bibliometrici.

Payback Model	
<b>A</b>	<b>Knowlegde</b>
<b>B</b>	<b>Benefits to future research and research use</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. better targeting of future research</li> <li>2. development of research skills, personnel and overall research capacity</li> <li>3. critical capability to utilize appropriately existing researches</li> <li>4. staff development and educational benefits</li> </ol>
<b>C</b>	<b>Political and administrative benefits</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. improved information bases on which to take political and execution decisions</li> <li>2. other political benefits from undertaking research</li> </ol>

Payback Model	
<b>D</b>	<b>Health sector benefits</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. cost reduction in the delivery of existing services</li> <li>2. qualitative improvements in the process of services delivery</li> <li>3. increased effectiveness of services</li> <li>4. equity (e.g. improved allocation of resources)</li> <li>5. revenues gained from IPRs</li> </ol>
<b>E</b>	<b>Broader economic benefits</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. wider economic benefits from commercial exploitation of innovation arising from R&amp;D</li> <li>2. economic benefits from a healthy workforce and reduction in working days lost</li> </ol>

**Tabella 7** – Payback categories [311].

Per ciascun item, gli intervistati daranno un punteggio da 1 a 9 permettendo così la definizione di un profilo per unità analizzata. Sebbene Tabella 7 riporta l'item Health sector benefits, tale modello si adatta molto bene ad ambiti e settori diversi, favorendo, quindi, la comparazione tra progetti profondamente diversi.

Bessette [299] propone, invece, una metodologia ibrida per la valutazione dell'impatto della ricerca sulla società. Obiettivo della metodologia è la stima del ROI (Return On Investment). L'utilizzo di tale misura presenta numerosi vantaggi, quali: 1. È una misura comunemente compresa; 2. È standardizzato e può confrontare diverse tecnologie; 3. Misura output divergenti; 4. È dinamico e può essere aggiornato; 5. Si adatta a contesti ed ambiti diversi.

Di seguito, la formula del ROI:

$$R = 100 \left[ \frac{O - (C - I)}{I} - 1 \right]$$

dove  $R$  è l'utile sul capitale investito (espresso in percentuale);  $O$  è l'output (output economico totale del progetto considerato);  $C$  rappresenta i costi operativi;  $I$  indica l'investimento pubblico-privato. Per applicare questa formula, è necessario implementare un protocollo di ricerca per la rilevazione dei dati necessari. Il protocollo di rilevazione è composto da 5 step [312]:

- Step 1: identificare il gruppo di ricerca, i ricercatori responsabili, le attrezzature e strutture utilizzate e/o acquistate. Questo ci permetterà di calcolare i costi operativi.
- Step 2: identificare gli stakeholder. Questa è una fase molto importante in quanto gli stakeholder hanno interessi, obiettivi e aspettative diverse. Tali informazioni ci permetteranno di capire gli output da considerare.

- Step 3: identificare i risultati della ricerca. È necessario considerare il valore economico dell'output come ritorno sull'investimento realizzato. Tutta la ricerca può considerarsi output, ma non tutti gli output hanno un valore economico. Pertanto, è necessario classificare quei risultati che hanno un valore economico misurabile.
- Step 4: Identificare i costi sostenuti per ciascun progetto considerato e quindi gli investimenti realizzati.
- Step 5: calcolare il rendimento di ciascun stakeholder. Attraverso il calcolo degli investimenti, costi e risultati per progetti specifici, si consente alle parti interessate di valutare i loro ritorni individuali.

Altro metodo utilizzato per la valutazione dell'impatto dell'attività di ricerca e sviluppo è il *Value for Money* (VfM). Un progetto crea *Value for Money* quando permette una riduzione dei costi di gestione, una migliore gestione del rischio, una più rapida implementazione del progetto, un incremento della redditività [313]. Per la misurazione del VfM (o VfM assessment) si intende il complessivo processo di valutazione che permette all'amministrazione di verificare, ex ante ed ex post, se l'operazione assicura il cosiddetto *Value For Money*. Ruolo del soggetto pubblico è, infatti, assicurare un continuo miglioramento nel modo in cui le proprie funzioni sono esercitate con riguardo alla combinazione di economicità, efficienza ed efficacia.

Un processo decisionale ben strutturato e supportato dall'utilizzo di opportuni strumenti può essere di estrema utilità al fine di assicurare la creazione di valore. In Italia sono da tempo utilizzate metodologie di valutazione ex ante dei progetti, in particolare analisi costi – benefici ("ACB") e studi di fattibilità economico-finanziaria.

Negli ultimi anni, inoltre, la legislazione richiede non più una mera analisi della fattibilità economica, finanziaria e tecnica, ma un vero e proprio "Business case" in grado di verificare anche la creazione di valore e la sostenibilità dell'iniziativa nel medio - lungo termine. Inoltre, stanno trovando diffusione strumenti innovativi di valutazione come l'analisi dei rischi ed il calcolo di specifici indicatori di convenienza come il cosiddetto Public Sector Comparator ("PSC").

L'attenzione e l'interesse delle pubbliche amministrazioni all'introduzione di nuovi strumenti di valutazione come l'analisi dei rischi ed il PSC è dovuto al desiderio di affiancare alla tradizionale analisi economico-finanziaria e costi-benefici uno strumento che possa orientare le scelte sia strategiche sia operative orientate alla creazione di valore, all'efficienza e all'efficacia evitando distorsioni nel processo decisionale dovute alla sopravvalutazione di benefici di carattere esclusivamente amministrativo/contabile.

Il PSC è uno strumento di VfM che permette di confrontare il costo dell'investimento (aggiustato per il fattore rischio) dei diversi progetti finanziati dal soggetto pubblico. Pertanto, tale strumento è utilizzabile per confrontare le diverse proposte di progetto ricevute e giungere all'ottimale allocazione delle risorse. In particolare, i candidati vengono contattati per fornire una serie di stime sui risultati economici previsti, tra cui: spese di R&S, previsioni di vendita, posti di lavoro creati, formazione realizzata, progressione del TRL, rischi e benefici più ampi. Si tratta di una deviazione dalla convenzione standard di analisi costi-benefici per considerare tutti i costi e i benefici.

Infine, l'Olanda utilizza un set di indicatori (sia qualitativi che quantitativi) volti all'analisi della qualità e dell'impatto della ricerca applicata. In particolare, le amministrazioni coinvolte in tale processo utilizzano un protocollo preciso che prevede innanzitutto l'identificazione dei research group e dei principali stakeholder, individuazione degli output della ricerca, definizione degli indicatori maggiormente coerenti con il tipo di output da valutare. È importante inoltre sottolineare che al fine di assicurare l'indipendenza, la trasparenza e l'affidabilità delle rilevazioni e analisi realizzate, il Governo olandese prevede i seguenti meccanismi:

Una chiara divisione dei ruoli tra le varie parti coinvolte: agenzie, commissioni, esperti coinvolti, comitati e così via.

Istituzione di un comitato di valutazione indipendente con ampia base internazionale. Il comitato varia a seconda del settore di riferimento inserendo esperti nel settore di ricerca pertinente.

Istituzione di un'agenzia di valutazione professionale indipendente che supporta la valutazione del Comitato. L'agenzia svolge attività di ricerca volta ad individuare informazioni e dati da integrare con quelle raccolte dal comitato di valutazione.

Istituzione di un comitato di vigilanza composto da esperti professionisti con esperienza pluriennale nel campo della valutazione della ricerca e della gestione delle attività di R&D.

Definizione della lista di indicatori quantitativi e qualitativi da rilevare. Con riferimento agli indicatori qualitativi è stato definito anche il questionario da far compilare ai componenti del gruppo di ricerca e dai principali stakeholder.

La valutazione finale si basa su un mix di informazioni e dati quantitativi e qualitativi, derivanti da fonti primarie e secondarie ed elaborati attraverso diversi metodi di valutazione. La combinazione di fonti e metodi diversi contribuisce alla solidità dei risultati e delle valutazioni. Il rispetto del protocollo citato assicura l'indipendenza, la trasparenza e che la valutazione non sia compromessa.

### 6.3 Possibili criteri per il priority setting nell'Aerospazio in Campania

I principali indicatori utilizzati dalla Regione Campania nella valutazione degli impatti della ricerca applicata sul tessuto economico-produttivo sono:

- 1) Numero di nuove imprese (PMI, startup, spin-off etc.),
- 2) Incremento del tasso di occupazione/riduzione della disoccupazione.
- 3) Aumento del profitto delle imprese,
- 4) Aumento dei salari dei lavoratori.

Alla luce delle analisi fatte, essendo il settore aerospaziale ad alta intensità tecnologica, appare opportuno considerare anche ulteriori indicatori:

- Incremento del Prodotto Interno Lordo Regionale,
- Numero di brevetti o altri strumenti per la tutela della proprietà intellettuale (e.g. marchi, logo, etc.) e relative citazioni,
- Numero di nuovi laboratori di ricerca,
- Numero di collaborazioni tra imprese-università/imprese-centri di ricerca,
- Sviluppo e commercializzazione di nuovi prodotti, nuove tecnologie, e nuovi processi,
- Ritorni economici derivanti dalla creazione di nuovi prodotti,
- Creazione nuovi mercati/consumatori
- Riduzione dei costi di produzione/Aumento quantità prodotta
- Numero di nuovi accordi commerciali,
- Variazione dell'ammontare complessivo di finanziamenti R&D attribuibile ai progetti finanziati
- Numero di "talenti" impiegati presso aziende e/o università
- Numero di partecipazioni in consorzi o network di ricerca nazionale/internazionale
- Nuovi uffici di trasferimento tecnologico o per assessment tecnologico.

Gli indicatori elencati sono di tipo quantitativo, ma è importante sottolineare che la tendenza europea è lo sviluppo e l'implementazione di processi valutativi basati su indicatori qualitativi perché ritenuti capaci di meglio valutare l'impatto della ricerca. L'utilizzo di indicatori qualitativi richiede l'adozione di protocolli di valutazione ben precisi al fine di ridurre la probabilità che la rilevazione sia influenzata dal comportamento dell'intervistatore, impattando negativamente sulla trasparenza, affidabilità e indipendenza della rilevazione stessa, e quindi della valutazione.

## 7. Un Sistema di Supporto alle Decisioni<sup>77</sup>

Il presente capitolo descrive la progettazione di uno specifico Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) che possa essere impiegato dall'amministrazione regionale sia nella fase di generazione e valutazione del Programma di spesa che nella successiva fase di valutazione e selezione degli interventi puntuali con cui dare attuazione al Programma.

### 7.1 Le attività di Progetto de L'Orientale

All'interno del Progetto Aerospazio, le attività del Gruppo di lavoro (GdL) de L'Orientale risultano incentrate sugli aspetti legati alla valutazione dell'impatto economico territoriale delle scelte di settore, in particolare sulla progettazione di uno specifico Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) che possa essere impiegato dall'amministrazione regionale sia nella fase di generazione e valutazione del Programma di spesa che nella successiva fase di valutazione e selezione degli interventi puntuali con cui dare attuazione al Programma.

Il Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) richiede un'adeguata conoscenza del Sistema di riferimento affinché, per esigenze sia di calcolo che di operatività gestionale, sia possibile una sua articolazione in sottosistemi sufficientemente omogenei al loro interno e di dimensioni gestibili.

Durante la Macro-Fase 1, le attività di ricerca si sono incentrate su due linee di azione:

- A. la prima di natura conoscitiva dell'articolazione e dei contenuti dei problemi decisionali su cui l'Amministrazione regionale dovrà intervenire;
- B. la seconda metodologica, di comparazione dei diversi approcci al Supporto alle decisioni e di definizione di quello in questa sede proposto.

Successivamente le due Linee hanno proseguito in parallelo ma con un peso crescente rivolto alla linea B. Infatti, l'obiettivo generale della ricerca svolta dal GdL de L'Orientale riguarda lo sviluppo di uno specifico DSS multi-obiettivo, iterativo ed interattivo e la sua sperimentazione su di un problema decisionale afferente all'ambito di sviluppo "Aerospazio" ma di dimensioni sufficientemente contenute tali da poter essere considerato omogeneo al suo interno.

---

<sup>77</sup> Unior.

A tal fine è stato individuato all'interno del POR un set di Azioni che impattano su obiettivi comuni e più facilmente quantificabili come, ad esempio, le azioni che favoriscono il trasferimento tecnologico alle PMI che operano nel settore Aeronautico, ove la logica dell'intervento pubblico di sostegno sia più vicina a quella del mercato e degli obiettivi economici, occupazionali, territoriali, di quanto non possano essere gli interventi negli altri due settori Difesa e Spazio.

Una volta definita l'esemplificazione, l'obiettivo iniziale è stato quello di quantificare gli impatti sui possibili obiettivi socialmente rilevanti associati alla assegnazione di risorse finanziarie così come previste all'interno del POR. Il modello di calcolo degli impatti a tal fine predisposto è stato poi applicato per valutare allocazioni alternative Pareto-efficienti che consentono di migliorare il livello di conseguimento per taluni obiettivi, fino ad individuare quella soluzione che realizza il miglior compromesso possibile tra gli obiettivi secondo le preferenze del/dei decisore/i.

La scelta del problema decisionale su cui effettuare la sperimentazione ha richiesto un approfondimento della conoscenza dell'articolazione del POR, del RIS3 e del sistema di relazioni tra il sistema dell'offerta regionale, le azioni quali strumenti d'intervento e gli impatti sugli obiettivi quali elementi di valutazione e decisione.

Ai fini della quantificazione degli impatti sugli obiettivi risulta di particolare rilevanza quanto riportato nel RIS3 e nel suo aggiornamento in corso grazie anche alle attività di questo Progetto; nel breve-medio periodo l'efficacia della spesa nelle diverse azioni selezionate dipende, infatti, dalle traiettorie tecnologiche interessate al trasferimento mentre nel lungo periodo è la stessa capacità evolutiva di tali traiettorie che potrà risultare influenzata dalla dimensione della spesa.

Sulla base della disponibilità delle informazioni necessarie per alimentare il modello matematico di supporto alle decisioni, è stata scelta l'esemplificazione su cui testare le possibilità di impiego del DSS proposto.

OT1: Obiettivo specifico POR-FESR	Azioni	Priorità RIS3	Assegnazione	Assegnazione di riferimento			
				X.i	AT01.1	AT01.3	AT01.5
1.1 - INCREMENTO DELL'ATTIVITÀ DI INNOVAZIONE DELLE IMPRESE	1.1.2 - Sostegno per l'acquisto di servizi per l'innovazione tecnologica, strategica, organizzativa e commerciale delle micro e piccole imprese	PS02-QUALIFICAZIONE DEI PROCESSI DI TRASFERIMENTO	1.164.522	X1	X1.1	X1.2	X1.3
				1.200.000	480.000	360.000	360.000
1.3 - PROMOZIONE DI NUOVI MERCATI PER L'INNOVAZIONE	1.3.1 Rafforzamento e qualificazione della domanda di innovazione della PA attraverso il sostegno ad azioni di Precommercial Public Procurement e di Procurement dell'innovazione	PS02-QUALIFICAZIONE DEI PROCESSI DI TRASFERIMENTO	931.617	X2	X2.1	X2.2	X2.3
				900.000	360.000	270.000	270.000
1.2 - RAFFORZAMENTO DEL SISTEMA INNOVATIVO REGIONALE E NAZIONALE	1.2.1 Azioni di sistema per il sostegno alla partecipazione degli attori dei territori a piattaforme di concertazione e reti nazionali di specializzazione tecnologica, come i Cluster Tecnologici Nazionali, e progetti finanziati con altri programmi europei per la ricerca e l'innovazione.	PS03-RAFFORZAMENTO DELLA COOPERAZIONE EXTRA-REGIONALE	10.044.000	X3	X3.1	X3.2	X3.3
				10.000.000	4.000.000	3.000.000	3.000.000

1.3 - PROMOZIONE DI NUOVI MERCATI PER L'INNOVAZIONE	1.3.2 Sostegno alla generazione di soluzioni innovative a specifici problemi di rilevanza sociale, anche attraverso l'utilizzo di ambienti di innovazione aperta come i Living Labs	PS04-DISSEMINAZIONE DEI RISULTATI DEI PROGETTI DI RS&I A SUPPORTO DEI PROCESSI DI ED	291.130	X4	X4.1	X4.2	X4.3
1.3 - PROMOZIONE DI NUOVI MERCATI PER L'INNOVAZIONE	1.3.3 Interventi a supporto della qualificazione dell'offerta di servizi ad alta intensità di conoscenza e ad alto valore aggiunto tecnologico	PS04-DISSEMINAZIONE DEI RISULTATI DEI PROGETTI DI RS&I A SUPPORTO DEI PROCESSI DI ED	1.979.687				
1.3 - PROMOZIONE DI NUOVI MERCATI PER L'INNOVAZIONE	1.3.3 Interventi a supporto della qualificazione dell'offerta di servizi ad alta intensità di conoscenza e ad alto valore aggiunto tecnologico	PS05-SVILUPPO DI START UP INNOVATIVE E DELLA FINANZA REGIONALE PER LA RS&I	698.713	3.000.000	1.200.000	900.000	900.000
1.4 - AUMENTO DELL'INCIDENZA DI SPECIALIZZAZIONI INNOVATIVE IN PERIMETRI APPLICATIVI AD ALTA INTENSITÀ DI CONOSCENZA	1.4.1 Sostegno alla creazione e al consolidamento di start-up innovative ad Alta intensità di applicazione di conoscenza e alle iniziative di spin-off della ricerca.	PS05-SVILUPPO DI START UP INNOVATIVE E DELLA FINANZA REGIONALE PER LA RS&I	3.377.113	X5	X5.1	X5.2	X5.3
	Totale azioni		18.486.783	18.500.000	7.400.000	5.550.000	5.550.000

**Tabella 7 – Azioni e risorse di riferimento.**

Con riferimento all'esemplificazione prescelta, la tabella 7 riporta l'incrocio tra gli Obiettivi specifici e le Azioni del P.O.R. con le Priorità RIS3 nonché il valore delle risorse complessive assegnate alle singole Azioni Xi. A seguire vengono riportati i valori da noi assunti come "Assegnazione di riferimento" sia per le cinque Azioni Xi che per le singole sotto-azioni Xij - quota parte delle risorse Xi assegnate alle singole Traiettorie tecnologiche j-esime:

- AT01.1 Sviluppo di metodologie per l'integrazione dei componenti strutturali e di componenti di motori aeronautici (materiali inclusi) con la progettazione e le relative simulazioni di processo di produzione.
- AT01.3 Componenti certificati ETSO.
- AT01.5 Trattamento di protezione superficiale e sistemi di protezione avanzati.

Come vedremo, l'esemplificazione consisterà nel trovare i valori  $X^*ij$  che realizzano la soluzione di miglior compromesso in termini d'impatto sugli obiettivi, nel rispetto di un set di vincoli che delimitano il campo di ammissibilità delle scelte.

Il presente capitolo rappresenta una sintesi del Deliverable D3 de L'Orientale, sintesi finalizzata prevalentemente alla presentazione del DSS proposto; si rimanda, pertanto, al suddetto D3 per una più completa presentazione dei risultati della ricerca, precisando che tabelle e grafici di questo capitolo conservano la numerazione originale del D3 al fine di agevolare una lettura integrata con il rapporto completo del lavoro di ricerca.

## 7.2 Le principali fonti dati sulla filiera dell'Aerospazio

La modellizzazione del sistema di riferimento ha richiesto un approfondimento delle conoscenze del comparto Aerospazio, Difesa e Sicurezza ("AD&S"), con una maggiore attenzione al settore Aeronautico, oggetto della nostra sperimentazione. A tal fine si è fatto riferimento alle seguenti fonti:

- il recente Rapporto redatto da The European House – Ambrosetti in collaborazione con Leonardo S.p.A, "La filiera italiana dell'aerospazio, della difesa e della sicurezza: come creare sviluppo industriale, nuove competenze tecnologiche e crescita per il sistema Paese" (settembre 2018) [314] limitandoci ai soli contenuti utili ad inquadrare il problema decisionale affrontato nella sperimentazione e a definire taluni dei parametri del modello di ottimizzazione multi-obiettivo. A tal fine è risultato, inoltre, di particolare interesse il programma LEAP2020 (Leonardo Empowering Advanced Partnerships 2020), finalizzato alla definizione di un nuovo rapporto tra la Società e i fornitori, italiani ed internazionali, all'insegna di un approccio industriale e di filiera.
- fonti varie per un approfondimento del sistema Produttivo Campania e del ruolo che vi svolge la filiera produttiva aerospaziale;
- il volume di P.L. Scandizzo, R. Nardone, C. Ferrarese, "Impatto sul sistema economico italiano dei flussi di spesa corrente e d'investimento del settore Aerospazio/Difesa", Open Economics srl, dicembre 2015 [315]. Il lavoro, oltre che fornire un'analisi dettagliata delle caratteristiche strutturali del settore: domanda, offerta, spesa corrente e in conto capitale, dà un importante contributo di ordine metodologico alla quantificazione più completa possibile degli impatti generati sull'intera economia italiana dalla spesa nel settore AD&S attraverso la costruzione di una Matrice di Contabilità Sociale (SAM).

La SAM è una matrice quadrata a doppia entrata il cui funzionamento è simile a quello della partita doppia (finanziamenti sulle righe e impieghi sulle colonne). Generalizza la tipica matrice input-output di Leontief introducendo, oltre alle transazioni tra settori e settori e tra fattori e settori, gli scambi fra famiglie, imprese, governo, formazione del capitale e resto del mondo.

La SAM rappresenta tutti i rapporti di interdipendenza tra gli operatori di un sistema economico. L'effetto complessivo di uno shock che colpisce una singola componente della SAM e si propaga a tutti gli altri può essere visto come l'esito finale di un moltiplicatore Keynesiano. Inoltre, estensioni delle SAM permettono di integrare gli aspetti economici che caratterizzano un determinato territorio con fattori ambientali quali, ad esempio le emissioni

inquinanti, il loro smaltimento e la gestione delle risorse naturali. Per queste sue caratteristiche la SAM diventa un'importante fonte per la quantificazione di alcuni parametri macroeconomici del nostro DSS.

Infatti, l'impatto del settore AD&S sull'economia italiana può essere valutato, attraverso l'uso della SAM, analizzando in dettaglio gli effetti diretti e indiretti della spesa in conto capitale (Investimenti), della spesa corrente (Produzione) e delle Esportazioni dell'aggregato industriale AD&S.

### **7.3 La Valutazione degli impatti delle Scelte Pubbliche**

È noto come sia ancora lontano il raggiungimento di un consenso allargato, da parte della comunità scientifica e degli operatori, sulle metodologie per supportare il processo decisionale nei vari possibili problemi di valutazione. Di fatto, la situazione si presenta in maniera significativamente diversa a seconda che ci si riferisca alla Valutazione ex ante, a quella in itinere o, infine, a quella ex post.

Per quanto riguarda la valutazione ex ante, mentre sulla valutazione degli impatti dell'intervento pubblico a livello di progetto d'investimento o di altra azione puntuale, ad esempio regolatoria, si può ritenere che esistano metodologie sufficientemente consolidate e condivise, pur nel riconoscimento di limiti ancora non del tutto superati da parte dei singoli approcci, non è così a livello di interventi più complessi e disomogenei che, a seconda dei casi, vengono indicati come piani, programmi e politiche. Per i programmi e le politiche spesso la valutazione si limita ad una più adeguata articolazione degli obiettivi e alla quantificazione di alcuni indicatori di risultato, senza che tuttavia sia precisato il nesso causa-effetto e che sia definito un percorso in qualche maniera ricostruibile. Per i Piani, invece, non si affronta il problema della generazione delle varie alternative di piano e di un loro confronto bensì, in genere, ci si limita ad applicare una analisi costi benefici alla proposta finale di Piano, confrontandola con il "non fare nulla" (ottenendo, così, risultati di ovvia convenienza per il piano proposto, qualunque esso sia).

La valutazione ex post risente di tutti gli elementi di debolezza attribuibili alla valutazione ex ante ma con ulteriori difficoltà dovute ad una serie di circostanze:

- lo scenario di riferimento che si evolve nel tempo in maniera diversa da quanto previsto;
- mancanza di termini di confronto rappresentati dai risultati attesi stimati in maniera coerente all'interno della valutazione ex ante;
- difficoltà, all'interno di sistemi complessi, ad isolare gli effetti e attribuirli a specifiche decisioni/azioni.

Con queste limitazioni, la valutazione ex post è risultata un esercizio poco praticato e le esperienze finora maturate hanno prevalentemente il significato

di una sperimentazione metodologica ed hanno generato, il più delle volte, una certa confusione di concetti e di metodi piuttosto che precisi orientamenti.

Quanto alla valutazione in itinere, questa ha un significato compiuto come monitoraggio della spesa e dei tempi di realizzazione mentre in termini di valutazione degli impatti di piani, programmi e politiche, soffre di tutte le limitazioni evidenziate per la valutazione ex ante. Nella sua funzione di riprogrammazione all'interno di una valutazione intermedia, di fatto, si assimila ad una valutazione ex ante ma con il vantaggio dell'esperienza acquisita durante la fase di attuazione trascorsa.

Come cercheremo di mostrare, effettuare la valutazione ex ante secondo le modalità richiamate in questa sede rende più agevole anche la valutazione in itinere e quella ex post; non solo, ma impostare il processo di valutazione secondo un percorso dal più generale al più particolare, dalla politiche, ai programmi, ai piani e, infine, ai progetti, supportato da un percorso esattamente inverso di validazione dei dati e delle ipotesi che parte, invece, dal particolare per risalire al più generale, può portare ad una notevole semplificazione delle singole fasi di valutazione, ove ciascuna si specializza sui soli contenuti ad essa propri. Ulteriore corollario di un tale approccio, a nostro avviso sicuramente il più rilevante, è che esso consente di organizzare le informazioni in maniera utile, anche se ovviamente semplificata, nella fase di generazione e comparazione delle alternative decisionali, valorizzando al meglio la gran mole di dati e conoscenze acquisite nelle fasi di analisi che precedono la valutazione vera e propria.

## 7.4 Il modello del problema decisionale

Ai fini della nostra sperimentazione assumeremo che il problema decisionale consista nel trovare l'allocazione di risorse pubbliche tra più impieghi alternativi che realizzi la soluzione di miglior compromesso possibile tra gli obiettivi perseguiti. Con riferimento alla Tabella 7 che segue, procediamo a descrivere le variabili, i vincoli sulle variabili, gli obiettivi e le funzioni che li rappresentano.

N.	Max/Min	Azione			X1			X2			X3			M			X5			TOTALE	Ato11	Ato13	Ato15
		Tridottoria			Ato1.1	Ato1.2	Ato1.5	Ato1.1	Ato1.3	Ato1.5	Ato1.1	Ato1.3	Ato1.5	Ato1.1	Ato1.3	Ato1.5	X5.1	X5.2	X5.3				
		Azione/Tridottoria			X1.1	X1.2	X1.3	X2.1	X2.2	X2.3	X3.1	X3.2	X3.3	X4.1	X4.2	X4.3							
1	Min	Finanz. pubblico (valore base)			2,16	2,43	1,89	2,16	1,35	1,35	20,54	13,51	20,00	6,76	4,86	4,59	7,09	5,14	6,22	100,00	38,65	27,30	34,05
2	Max	Finanziamento privato			1,44	3,65	2,84	1,44	2,09	2,69	19,69	20,77	30,00	4,50	7,30	6,80	4,48	7,70	9,32	117,79	15,77	40,95	51,08
3	Max	Totale investimento			3,60	6,08	4,73	3,60	3,48	3,38	34,23	30,78	50,00	11,26	12,16	11,49	11,71	12,84	15,54	217,79	54,41	68,24	85,14
<b>Obiettivi (RS)</b>																							
5	Max	Finanziamento pubblico su Ato1.1			2,16	-	-	2,16	-	-	20,54	-	-	6,76	-	-	7,09	-	-	38,65	38,65	-	-
6	Max	Finanziamento pubblico su Ato1.3			-	2,43	-	-	1,35	-	-	11,51	-	-	4,86	-	-	5,14	-	27,30	-	27,30	-
7	Max	Finanziamento pubblico su Ato1.5			-	-	1,89	-	-	1,35	-	-	20,00	-	-	4,59	-	-	6,22	34,05	-	-	34,05
8	Max	Technology Readiness Level (TRL)			0,02	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,21	0,20	0,25	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	1,22	0,36	0,41	0,43
9	Max	Grado di cambiamento atteso (GC4)			0,02	0,05	0,05	0,02	0,03	0,03	0,21	0,27	0,50	0,07	0,10	0,11	0,07	0,10	0,16	1,78	0,36	0,55	0,65
10	Max	Cassa della tecnologia (CT)			0,04	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,34	0,34	0,50	0,11	0,12	0,11	0,12	0,13	0,16	2,18	0,64	0,68	0,65
<b>Fase di cantiere</b>																							
11	Max	Aggiornamento			0,04	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,34	0,11	0,16	0,11	0,04	0,04	0,12	0,04	0,05	1,14	0,64	0,23	0,27
12	Min	Mia in portazioni			0,54	1,82	1,09	0,54	1,01	0,78	5,14	10,14	11,50	1,89	3,85	2,64	1,76	3,85	3,57	40,72	9,66	20,47	19,58
13	Max	Spesa personale			2,16	2,74	2,36	2,16	1,52	1,69	20,54	15,20	25,00	6,76	5,47	5,74	7,09	5,78	7,77	111,99	38,65	30,71	42,57
14	Max	Spesa Ricercatori			0,86	0,82	0,71	0,86	0,66	0,51	8,22	4,56	7,50	2,70	1,64	1,72	2,81	1,73	2,33	37,04	15,86	9,21	12,77



La quantificazione degli impatti sui vari obiettivi in funzione dei valori assunti dalle variabili decisionali viene espressa nell'unità di misura più vicina alla natura dell'obiettivo: ad esempio, la moneta per gli obiettivi economico-finanziari, il numero di occupati per l'occupazione, un punteggio per il Technology Readiness Level (TRL), e così via. La Matrice di valutazione sarà, pertanto, una Matrice multiobiettivo, multidimensionale che potrà essere riferita ad un solo Decisore o a più Decisori separatamente.

Come risulta dalla Tabella 7 che segue, gli obiettivi vengono articolati per:

- Obiettivi associati alla Traiettorie
- Obiettivi associati alla fase di investimento
- Obiettivi associati alla fase di gestione
- Obiettivi associati alla redditività

### La definizione dei parametri del modello

Per quantificare i coefficienti di attivazione degli impatti da associare alle variabili (le risorse pubbliche da allocare) è possibile procedere in più modi a seconda della disponibilità di dati e della attendibilità delle fonti.

In altre situazioni si dovrà procedere con approcci del tipo descritto nel diagramma che segue e che assume una stretta interazione con gli esperti della Regione, una valorizzazione delle fonti dati ufficiali disponibili, analisi statistiche ed econometriche ad hoc sul problema in esame, come mostrato nella Figura 43.

Qualora si tratti d'impatti macroeconomici un possibile approccio alternativo è rappresentato dalla Matrice di Contabilità Sociale (SAM) come abbiamo precedentemente illustrato. Essa è una matrice quadrata a doppia entrata in grado di rappresentare, oltre alle transazioni tra settori e settori e tra fattori e settori, gli scambi fra famiglie, imprese, governo, formazione del capitale e resto del mondo. La SAM rappresenta, quindi, tutti i principali rapporti di interdipendenza tra gli operatori di un sistema economico.



Figura 43 – Definizione dei parametri del modello.

La matrice SAM risulta di grande aiuto per una adeguata rappresentazione del problema decisionale attraverso il modello multiobiettivo di supporto alle decisioni. La definizione dei parametri unitari d'impatto non sarà più affidata ad analisi saltuarie ad hoc o a valutazioni affidate ad esperti ma riposerà su fonti ed elaborazioni ufficiali. Sarà pur sempre possibile allontanarsi da detti valori ma sulla base di esigenze e informazioni puntuali connesse allo specifico problema decisionale in esame.

La Tabella 7 descrive il modello di ottimizzazione multiobiettivo, ove le variabili decisionali sono le risorse da allocare nelle 15 sub-azioni e gli impatti sono calcolati come funzione lineare delle risorse moltiplicate per dei coefficienti unitari stimati dal gruppo di lavoro.

## **7.5 Il DSS per la generazione e valutazione del Programma**

Il Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) che in questa sede si propone può essere impiegato nella valutazione degli impatti sia delle Politiche che dei Programmi di spesa con cui si intende dare attuazione alle politiche, e sia dei Piani d'investimento con cui si intende dare attuazione ai programmi. Il DSS genera delle proposte (di Politica, di Programma, di Piano) e ne fornisce una quantificazione degli impatti sugli obiettivi potenzialmente rilevanti per il Decisore: quindi, supporta contemporaneamente sia la fase di generazione della proposta che di sua valutazione.

Per ogni proposta generata dal modello di ottimizzazione multi obiettivo, gli impatti su ciascun obiettivo vengono confrontati con delle grandezze di riferimento (ad esempio, il loro valore ideale, in modo da poter quantificare la distanza da tale valore, cioè il rimpianto associato a quella decisione). Se gli impatti sono considerati tutti accettabili/soddisfacenti, quella proposta rappresenta un soddisfacente compromesso tra gli obiettivi perseguiti; in caso contrario, il Decisore indica l'obiettivo da migliorare e la soglia da raggiungere: questa indicazione viene recepita dal modello come un nuovo vincolo da soddisfare per cui genera una nuova proposta che lo rispetti. L'interazione modello/decisore prosegue fino al raggiungimento, se esiste, della soluzione soddisfacente che realizza il miglior compromesso possibile tra gli obiettivi perseguiti.

Nei modelli relativi a Politiche o a Programmi di spesa, le variabili decisionali sono le risorse finanziarie pubbliche da assegnare a ciascuna voce; pertanto, sono variabili continue. Nei Piani le variabili decisionali sono, invece, le variabili binarie d'esistenza associate a ciascuna alternativa d'investimento; pertanto, sono variabili che nell'ottimo possono assumere solo il valore 1 (investimento da realizzare) o il valore 0 (investimento da non realizzare).

La possibilità di valutare a ciascun livello decisionale gli impatti sugli obiettivi a quel livello rilevanti, consente di agevolare notevolmente la successiva e più approfondita valutazione dei singoli progetti d'investimento in quanto questa si

può limitare ai soli impatti che non siano già stati valutati ai livelli superiori. Inoltre, effettuare in questa maniera la valutazione ex ante fornisce anche gli elementi di confronto da utilizzare in una successiva valutazione ex post.

Il DSS proposto supera i ben noti limiti delle analisi unicriteriali, tipo Analisi Costi Benefici, e trova un utile impiego anche nei problemi di selezione delle alternative nella gestione, ad esempio, di un bando di gara. Nella selezione di progetti di dimensione finanziaria diversa tra loro, lo scorrimento di graduatorie fino al raggiungimento del budget disponibile, effettuato sulla base di un punteggio complessivo o del Valore Attuale Netto (VAN) o del Tasso Interno di Rendimento (TIR), portano a soluzioni errate mentre il DSS proposto consente non solo di risolvere correttamente il problema della selezione ma anche di gestire ulteriori vincoli, quali quelli sulle relazioni tra i progetti o su un'equa ripartizione delle risorse tra settori e/o aree territoriali.

## **7.6 Il modello di ottimizzazione multi-obiettivo**

Concettualmente, il sistema di supporto alle decisioni può essere articolato in due fasi: la fase analitica e la fase di scelta. Alla fase analitica sono associati i modelli matematici, le tecniche di ottimizzazione e tutti gli aspetti deterministici e quantificabili (fase oggettiva); la fase di scelta, viceversa, è associata a quegli aspetti indeterministici e non quantificabili dove la decisione dipende dalla struttura delle preferenze del decisore (Decision Maker, DM), struttura poco o affatto conosciuta (fase soggettiva) ma che può trovare un importante supporto nella fase analitica.

Tutti i problemi di scelte pubbliche sono problemi con più obiettivi socialmente rilevanti, ove le varie funzioni obiettivo sono in genere eterogenee tra loro e non direttamente comparabili, cosicché non possono essere misurate in un'unità di misura comune. Inoltre, poiché gli obiettivi sono spesso conflittuali, è impossibile massimizzare tutte le funzioni obiettivo contemporaneamente. La soluzione ideale, rappresentata dagli ottimi di ciascun obiettivo, pertanto non può esistere. Nei procedimenti di calcolo la ricerca della soluzione preferita viene limitata all'interno delle soluzioni efficienti ove per migliorare il valore di una funzione obiettivo occorre necessariamente peggiorare il valore di almeno un altro obiettivo: tutte le funzioni obiettivo non possono essere massimizzate contemporaneamente. Bisogna allora ricercare anzitutto le soluzioni non inferiori o "ottimali" in senso paretiano: una alternativa è detta essere non inferiore (o non dominata, efficiente o Pareto ottimale) se non esiste un'altra alternativa possibile che possa migliorare una risposta ad un criterio senza comportare un peggioramento per almeno uno dei rimanenti criteri.

In generale, nei problemi di ottimizzazione multiobiettivo esistono molte soluzioni Pareto ottimali per cui si pone il problema della scelta. La soluzione

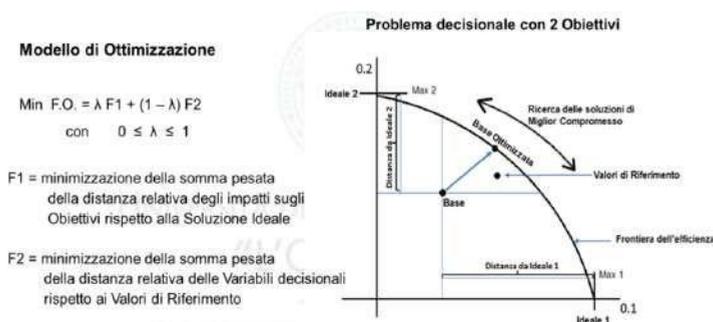
finale, selezionata come la più "desiderabile", o come il "miglior compromesso", è chiamata soluzione preferita.

Formalmente la procedura che risolve un'ottimizzazione multiobiettivo è composta dai seguenti tre passi:

- formulazione del modello matematico;
- generazione di soluzioni Pareto-efficienti e loro descrizione in termini di impatti sugli obiettivi e di scostamenti dai valori ideali;
- selezione della soluzione preferita.

I passi 1 e 2 sono inclusi nel processo di risoluzione di un problema di programmazione matematica multiobiettivo; il passo 3 ricade nel processo globale con decisioni soggettive.

Date queste premesse, in estrema sintesi, il DSS opera a partire dalla soluzione base proposta dal decisore ed elaborata in assenza del DSS per cui si tratterà di una soluzione "non efficiente", cioè al di sotto della frontiera dell'efficienza. A questo primo passo iniziale, il DSS calcola gli impatti sugli obiettivi e la loro distanza dalla soluzione ideale; quindi, ottimizzando una funzione obiettivo guida genera una soluzione Pareto-efficiente e la propone al decisore descrivendola in termini di impatti su ciascuno degli obiettivi considerati nella formulazione del problema e in termini di valori delle variabili decisionali; come ulteriore informazione, il DSS fornisce per ciascun obiettivo la distanza dal suo valore ideale, grandezza che esprime il "rimpianto" rispetto al valore che quel obiettivo potrebbe raggiungere nella soluzione ideale. Qualora la nuova soluzione proposta sia stata generata inserendo per ogni obiettivo un vincolo sul livello di conseguimento che debba essere non peggiore di quello della soluzione base, allora la nuova soluzione rappresenterà un miglioramento paretiano e si collocherà sulla funzione di trasformazione all'interno del quadrante in alto a destra (vedi Figura 44).



**Figura 44** – Problema decisionale con due obiettivi.

Sulla base di queste informazioni, il decisore indica l'obiettivo su cui desidera intervenire in quanto il livello di conseguimento è considerato insoddisfacente, tenuto conto della distanza dal valore ideale e del livello di conseguimento degli altri obiettivi. Su tale obiettivo il Decisore impone un vincolo sul livello minimale di conseguimento desiderato; il DSS allora genera una nuova soluzione che ovviamente rispetta anche il nuovo vincolo e descrive il risultato proposto, sia in termini di impatti che di distanze dal nuovo vettore ideale, attivando così una nuova interazione con il Decisore e proseguendo in questa maniera finché si raggiunge una soluzione, se esiste, ove tutti gli obiettivi hanno raggiunto un valore almeno "accettabile" e ove si realizza il miglior compromesso possibile tra gli obiettivi.

Con riferimento al nostro problema di programmazione della spesa ove si debba allocare le risorse disponibili  $X$  tra 15 possibili tipologie di spesa (o azioni omogenee)  $X_{ij}$  sulla base degli impatti generati sui 34 obiettivi  $S_o$  socialmente rilevanti (vedi **Tabella 7**), per generare a ciascun passo la nuova soluzione da proporre al decisore, possono essere utilizzati più approcci. Il più semplice ed intuitivo è quello di trasformare il problema multi-obiettivo in un problema mono-obiettivo ove viene ottimizzata una sola delle  $S$  funzioni obiettivo, scelta in quanto particolarmente rilevante e/o rappresentativa e/o di facile comprensione, nel rispetto dei vari vincoli, sia quelli esogeni (la disponibilità di risorse, le tecnologie, etc.) che quelli endogeni, inseriti dal decisore sul livello minimo accettabile di conseguimento degli obiettivi [316]–[319]. Se il decisore non modifica le scelte precedenti, arriverà alla soluzione di miglior compromesso, se esiste, in un numero massimo di passi pari a  $S - 1$ .

In problemi decisionali di grandi dimensioni può risultare preferibile utilizzare un altro possibile approccio che in genere consente di ridurre il numero di iterazioni per individuare la soluzione di miglior compromesso; tale approccio utilizza come funzione guida per generare nuove soluzioni pareto-efficienti quella di minimizzare la somma pesata di due ulteriori blocchi di funzioni: il primo che tiene conto degli scostamenti negli obiettivi (tra valore proposto nell'ultimo passo di ottimizzazione e il valore ideale), il secondo che tiene conto degli scostamenti nelle variabili decisionali (per ciascuna azione, tra valore proposto e un valore di riferimento considerato come desiderabile dal decisore).

È bene però precisare subito che tutti i pesi utilizzati all'interno del modello non devono essere esplicitati ex ante dal decisore, come avviene in altri approcci multicriteriali, ma vengono a ciascun passo ricalcolati dal modello stesso secondo scelte operate dai tecnici con l'obiettivo di accelerare il processo decisionale ma senza interferire con le scelte del decisore [320]. La modalità di calcolo è tutta interna al processo tecnico con cui viene generata la soluzione e non modifica la tipologia delle informazioni fornite al decisore (gli impatti e la loro distanza dal valore ideale) né il suo ruolo o le competenze che gli vengono richieste.

Poiché il numero di soluzioni non dominate è generalmente molto ampio nei problemi discreti e infinito nei problemi lineari, risulta necessario utilizzare dei metodi interattivi, implementati in opportuni DSS (Decision Support System), che propongano al DM (*Decision Maker*) un numero limitato e ben definito di possibili scelte e che tendano, in un numero ridotto di passi, a convergere verso una soluzione accettabile o *preferita*.

L'approccio qui descritto prende spunto dai fondamenti della programmazione per obiettivo (Goal Programming) [321], [321]–[328], uno dei primi approcci interattivi, in ordine di tempo, proposto da Charnes e Cooper.

### 7.7 I risultati della sperimentazione del modello

Il problema decisionale che abbiamo descritto nella precedente **Tabella 7** è stato successivamente rappresentato come modello lineare di ottimizzazione multiobiettivo a variabili continue nella **Tabella 7**. In questo paragrafo forniremo una descrizione dettagliata dei risultati ottenuti in occasione di un seminario svolto con il supporto del DSS proposto. Tra le applicazioni a problemi nel continuo in cui il DSS proposto ha trovato applicazione, si ricordano [329]–[331], [320], [332], [319], [333], [334].

Il DSS opera all'interno dell'ambiente di lavoro del software "Microsoft Excel"; in primo luogo per l'evidente vantaggio in termini di familiarità dell'interfaccia fondamentale nel momento in cui il modello è presentato per le simulazioni a decisori politici che difficilmente dispongono del tempo necessario ad apprendere ed a familiarizzare con l'utilizzo di un nuovo software; in secondo luogo, perché ciò consente la massima flessibilità in fase di definizione e realizzazione del supporto.

Si è quindi predisposta una cartella di lavoro costituita da vari fogli collegati tra loro sui quali, al fine di automatizzare le procedure ricorsive (quali, ad esempio, il calcolo della soluzione ideale), si sono programmate una serie di macro in "Visual Basic". Per le procedure di ottimizzazione il sistema si appoggia ad un software di calcolo basato sull'algoritmo del semplice prodotto da "Lindo Systems", che lavora come un *add-in* di Microsoft Excel.

I fogli essenziali di cui si compone la cartella di lavoro sono denominati rispettivamente:

- foglio "Modello" nel quale vengono definite le variabili decisionali del modello, il set di vincoli esogeni come il vincolo di bilancio globale ed i limiti inferiori e superiori all'interno dei quali possono muoversi le variabili decisionali;
- foglio "Scenari" che contiene il cruscotto di controllo dell'intero modello; tramite semplici bottoni di azione è possibile attivare le macro del modello per la generazione ed il salvataggio dei diversi scenari di ottimizzazione;

- foglio "Grafici" in cui sono sintetizzati sotto forma grafica i principali risultati del modello.

Nel foglio denominato "Modello" sono riportate: le variabili decisionali, con i vincoli di minimo e di massimo e gli scostamenti dal valore di "riferimento" (vedi Tabella 9); le funzioni obiettivo con i valori ideali, i valori ottimali proposti allo step (s-1), lo scostamento percentuale dai valori ideali e il miglior valore possibile allo step s, la posizione del valore corrente all'interno del massimo scostamento possibile dal valore ideale; in più sono indicati i vettori di pesi utilizzati sia per le funzioni obiettivo che per i valori di riferimento, nonché il valore  $\lambda$  e il valore di t (vedi Tabella 10); sono inoltre calcolati, a richiesta, i nuovi valori di vincolo, sia di minimo che di massimo, effettivamente rilevanti a quel passo per le variabili decisionali. Con queste informazioni, il decisore è in grado di fissare correttamente i nuovi vincoli discrezionali sui valori delle funzioni obiettivo e/o delle variabili decisionali, senza incorrere nel rischio di generare problemi senza soluzioni ammissibili.

Nel foglio "Scenari", infine, sono memorizzati e confrontati, oltre che i valori delle variabili, anche i valori degli impatti determinati su ciascun obiettivo nei vari passi che portano dallo scenario iniziale (Scenario 0 - non ottimizzato), allo Scenario 1 ottimizzato (nel rispetto dei soli vincoli esogeni) fino a quello finale (di miglior compromesso). Questi dati sono espressi sia in valore assoluto, che in termini relativi rispetto all'Ottimo Ideale; per facilitare la lettura agli scostamenti in percentuale dall'ottimo ideale è associato un diagramma a barre che permette di evidenziare chiaramente quelli che sono gli obiettivi con le prestazioni peggiori e che richiederebbero un'attenzione da parte del decisore politico.

Nella parte alta del foglio scenari vi sono una serie di comandi che costituiscono il cruscotto di controllo del modello: alla pressione dei relativi pulsanti partono delle "routine" che permettono di inizializzare il modello alle ipotesi di partenza, calcolare il vettore "Ottimo Ideale", ricercare la nuova soluzione una volta impostati i vari vincoli di scenario, ed in ultimo, memorizzare tutte le informazioni dello scenario generato.

<b>Reset Modello</b>		<b>Ottimo Ideale</b>		<b>Sc. Corrente</b>		<b>Elabora Scenario</b>		<b>Salva</b>	
		<b>INPUT</b>							
Funzione Obiettivo	min	Val.norm. FO1 ( $\Delta$ Ott. Ideale)				0,161	0,5		
	min	Val.norm. FO2 ( $\Delta$ Val. Rif.)				0,176	0,5		
	min	FO Globale: $FO1*\lambda1+FO2*\lambda2$				0,168	min		
		t - Esponente pesi Scostamento Ottimo Ideale						0,5	
+	-	Soglie significatività			3%				



		Reati/Mobilità		Orto/mobilità		Sic. Corrente		Elabora Scenario		Salvo							
		INPUT		Fav. A		Fav. B		Fav. A		Fav. B							
Favorente	min	Val norm. F01 (0.04 Ideale)		0,091	1	0,181	0,5	0,004	1	0,072	1						
	min	Val norm. F02 (0. Val. B1)		0,099	0	0,178	0,5	0,136	0	0,205	0						
	min	F03		0,091	0	0,181	0,5	0,003	min	0,072	min						
		- Esponere		0		0,5		0,5		0							
		Soglie sign. dell'0.5e T		0%													
		Sc. T-1															
				Scenario 0 - Base 0000000		Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5			
N.	Max min	U.M.	Ultimo Ideale	Fav. A Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. B		
1	min	Finanz. pul	€ 100,00	100,00	25,00%	100,00	25,00%	0,0001	100,00	25,00%	100,00	25,00%	100,00	25,00%	0,0001	0,0001	
3	Max	Finanziary	€ 128,67	117,79	7,01%	128,33	14,47%	0,0402	128,58	120,81	6,41%	0,0261	128,67	0,00%	0,0001	0,0001	
4	Max	Totale invest	€ 228,67	217,79	3,91%	208,33	8,09%	0,0330	208,53	220,81	2,57%	0,0261	228,67	0,00%	0,0001	0,0001	
5	Max	Finanziary	€ 50,00	38,65	22,70%	50,00	0,00%	0,0001	50,04	39,00	22,00%	0,0001	50,00	0,00%	0,0001	0,0001	
6	Max	Finanziary	€ 37,50	27,95	27,21%	21,43	42,86%	0,0761	21,48	37,50	0,00%	0,0001	37,50	0,00%	0,0001	0,0001	
7	Max	Finanziary	€ 37,50	34,05	8,19%	28,57	23,81%	0,0567	28,23	27,50	26,87%	0,0261	34,50	8,00%	0,0001	0,0001	
8	Max	Technology	€ 4,27	1,22	4,09%	1,18	7,47%	0,0318	1,18	1,26	1,57%	0,0261	1,27	0,00%	0,0001	0,0001	
9	Max	Industria	€ 1,91	1,78	6,49%	1,64	13,87%	0,0433	1,65	1,79	7,29%	0,0261	1,89	0,79%	0,0001	0,0001	
10	Max	Classe de ill	€ 2,27	2,18	3,91%	2,09	8,09%	0,0330	2,09	2,21	2,57%	0,0261	2,27	0,00%	0,0001	0,0001	
11	Max	Aggiornato	€ 1,24	1,14	7,96%	1,24	0,20%	0,0052	1,24	1,12	10,23%	0,0261	1,08	11,11%	0,0001	0,0001	
12	min	Importazio	€ 37,33	49,72	33,20%	45,00	20,56%	0,0527	44,93	52,69	41,14%	0,0261	54,95	47,25%	0,0001	0,0001	
13	Max	Spesagers	€ 113,69	111,93	1,55%	109,82	3,40%	0,0214	109,99	111,96	1,87%	0,0261	113,31	0,33%	0,0001	0,0001	
14	Max	Sistemazio	€ 37,66	37,44	0,37%	37,66	0,04%	0,0034	37,96	36,97	2,42%	0,0261	36,79	1,08%	0,0001	0,0001	
15	Max	Riduzi oper	€ 73,51	75,19	2,80%	73,51	4,97%	0,0259	73,51	76,77	0,73%	0,0261	77,35	0,00%	0,0001	0,0001	
16	min	Costi oper	€ 42,41	53,42	25,87%	53,29	26,56%	0,0267	53,24	54,63	20,71%	0,0261	54,20	27,71%	0,0001	0,0001	
17	Max	Costo pers	€ 14,43	13,58	5,85%	13,88	3,05%	0,0045	13,98	13,81	3,50%	0,0261	13,48	4,54%	0,0001	0,0001	
18	Max	MOL	€ 23,20	21,77	6,15%	20,22	12,83%	0,0416	20,28	22,14	4,54%	0,0261	23,15	0,19%	0,0001	0,0001	
19	Max	Value invest	€ 38,88	48,70	27,94%	51,20	34,37%	0,0611	52,08	49,26	28,35%	0,0261	47,90	23,31%	0,0001	0,0001	
21	Max	Value invest	€ 36,23	35,10	3,17%	33,69	7,05%	0,0309	33,77	34,63	4,33%	0,0261	35,84	0,87%	0,0001	0,0001	
23	Max	Value egg	€ 38,63	35,35	3,50%	34,20	6,64%	0,0299	34,20	36,08	1,50%	0,0261	36,63	0,00%	0,0001	0,0001	
24	Max	Value egg	€ 21,88	21,21	3,50%	20,52	6,64%	0,0299	20,54	21,60	1,50%	0,0261	21,98	0,00%	0,0001	0,0001	
25	Max	Value egg	€ 33,07	30,98	3,50%	29,00	6,64%	0,0299	29,00	30,60	1,50%	0,0261	31,07	0,00%	0,0001	0,0001	
26	Max	Value egg	€ 39,68	38,54	3,50%	37,73	6,64%	0,0299	37,73	38,33	1,50%	0,0261	39,68	0,00%	0,0001	0,0001	
27	Max	Entrate fissi	€ 35,27	34,63	3,50%	33,49	6,64%	0,0299	33,48	33,33	1,50%	0,0261	35,87	0,00%	0,0001	0,0001	
29	Max	Value finanzia pubblica	€ 176,99	167,29	5,48%	158,60	10,39%	0,0375	158,60	172,83	0,73%	0,0261	176,99	0,00%	0,0001	0,0001	
30	Max	Surplus	€ 23,21	22,56	2,80%	22,05	4,97%	0,0259	22,05	23,05	0,73%	0,0261	23,21	0,00%	0,0001	0,0001	
31	Max	Cheri fissi su costo personale	€ 5,77	5,43	5,85%	5,99	3,08%	0,0054	5,98	5,98	3,36%	0,0261	5,98	4,54%	0,0001	0,0001	
32	Max	Benefici socialisti	€ 51,75	49,76	3,85%	47,87	7,50%	0,0318	47,88	50,75	1,93%	0,0261	51,75	0,00%	0,0001	0,0001	
33	Max	Value	€ 240,93	231,77	3,80%	223,78	7,12%	0,0310	223,78	237,29	5,51%	0,0261	240,93	0,00%	0,0001	0,0001	
				Base 0000000		Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5			
Indice Riferim.	Azione	Valore Riferim.	Base 0000000	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B	0% Fav. A	0% Fav. B		
	X1.1	2,50	2,18	14,7%	1,82	3,3%	3,3%	25,00%	1,82	3,3%	2,59	0,00%	1,82	3,3%	18,2	30,00%	
6.49	X1	X1.2	1,95	2,43	23,0%	1,36	2,4%	1,36	30,00%	1,36	2,43	2,43	25,00%	1,36	2,43	1,36	2,43
	X1.3	1,95	1,89	2,9%	1,36	2,4%	1,95	0,00%	1,36	2,43	1,36	2,43	1,95	0,00%	1,36	2,43	
	X2.1	1,95	2,18	11,1%	1,36	2,4%	1,95	25,00%	1,36	2,43	2,43	1,95	0,00%	1,36	2,43	1,36	2,43
4.86	X2	X2.2	1,48	1,35	7,4%	1,02	1,8%	1,30	10,82%	1,02	1,82	1,02	1,82	1,02	1,82	1,02	1,82
	X2.3	1,48	1,35	7,4%	1,02	1,8%	1,48	0,00%	1,02	1,82	1,02	1,82	1,48	0,00%	1,02	1,82	
	X3.1	21,62	20,54	4,9%	15,14	27,0%	27,05	25,00%	15,14	27,05	36,80	27,05	20,77	3,91%	15,14	27,05	
54.05	X3	X3.2	18,22	13,51	14,1%	11,35	20,27	11,30	28,08%	11,30	20,27	11,35	11,78	20,27	25,00%	11,35	20,27
	X3.3	18,22	20,00	10,9%	11,35	20,27	14,79	8,81%	11,35	20,27	11,35	18,58	13,72	15,42%	11,35	20,27	
	X4.1	6,48	6,76	4,7%	4,54	8,11	5,11	25,00%	4,54	8,11	7,88	8,11	6,56	30,00%	4,54	8,11	
16.22	X4	X4.2	4,86	4,86	0,0%	3,41	6,08	3,41	30,00%	3,41	6,08	3,41	3,89	6,08	25,00%	3,41	6,08
	X4.3	4,86	4,59	5,4%	3,41	6,08	4,86	0,00%	3,41	6,08	3,41	4,08	4,86	0,00%	3,41	6,08	
	X5.1	7,35	7,05	4,4%	5,15	9,19	5,15	19,00%	5,15	9,19	8,96	9,19	5,15	30,00%	5,15	9,19	
18.38	X5	X5.2	5,51	5,14	6,9%	3,86	6,89	3,86	30,00%	3,86	6,89	3,86	4,29	6,89	25,00%	3,86	6,89
	X5.3	5,51	6,22	12,7%	3,86	6,89	5,51	0,00%	3,86	6,89	3,86	6,89	5,51	0,00%	3,86	6,89	

Tabella 9 – Risultati dell'ottimizzazione (2)

## 7.8 I risultati della simulazione

La sintesi dei risultati della simulazione dell'interazione con il decisore "tecnico" è riportata nella **Tabella 10** che segue. La tabella presenta tre blocchi di informazioni: il primo, fornisce i valori di input per indirizzare la funzione guida; il secondo presenta gli impatti sugli obiettivi; il terzo, infine, presenta gli impatti sulle variabili decisionali.

Iniziando dal secondo blocco, nella parte di sinistra sono riportati gli indicatori; a seguire abbiamo i valori "ideali", poi gli impatti della soluzione di base fornita dal Decisore, ma senza avvalersi del DSS proposto, nonché gli scostamenti relativi degli impatti della proposta rispetto a quelli dell'ottimo (i valori ideali), espressi in valore assoluto. La soluzione base ovviamente utilizza pienamente le risorse finanziarie disponibili (poste pari a 100 in modo da avere i valori delle variabili decisionali facilmente leggibili in termini percentuali) ma si discosta significativamente dal valore ideale per molti degli impatti, pur raggiungendo prestazioni eccellenti, ad esempio, per la spesa per il personale (solo 1,55% di scostamento dal valore ideale).

Utilizzando il modello di ottimizzazione con  $\lambda = 1$  e  $t = 0$ , nel rispetto dei soli vincoli esogeni, si ottiene la soluzione di cui allo Scenario 1; tale soluzione è descritta in termini di impatti sugli obiettivi, di scostamenti dal valore ideale e di variazioni rispetto alla soluzione base. A differenza della soluzione base, questa nuova soluzione è Pareto-efficiente e consente, a parità di pesi, di migliorare la funzione guida da minimizzare dal valore di 0,091 al valore di 0,072 essendosi ridotti gli scostamenti dai valori ideali.

Per ogni nuovo Scenario, generato introducendo almeno un nuovo vincolo discrezionale sugli impatti o sui valori delle variabili decisionali, il programma genera anche le nuove soluzioni ideali, i cui valori risultano sempre più bassi all'aumentare del numero di vincoli.

Per giungere alla soluzione di miglior compromesso dello Scenario 6, riportata in tabella seguente, sono stati effettuati altri due passi con valori di  $\lambda$  e  $t$  pari a  $\lambda = 1$  e  $t = 0$ , inserendo ad ogni nuovo step i seguenti vincoli discrezionali (vedere **Tabella 10**):

**2° Passo** -  $\lambda = 1, t = 0$  (tutti gli obiettivi hanno la stessa rilevanza)

vincoli discrezionali sugli obiettivi:

- Finanziamento pubblico su AT01.1  $\geq 35$

**3° Passo** -  $\lambda = 1, t = 0$

vincoli discrezionali sugli obiettivi:

- Finanziamento pubblico su AT01.1  $\geq 35$
- Importazioni  $\leq 45$

**4° Passo** -  $\lambda = 1, t = 2$  (aumenta la rilevanza degli obiettivi più lontani dal Valore ideale)

vincoli discrezionali sugli obiettivi:

- Finanziamento pubblico su ATo1.1  $\geq 35$
- Importazioni  $\leq 45$

**5° Passo** -  $\lambda = 0.5$  (gli scostamenti negli obiettivi e nelle variabili decisionali sono entrambi rilevanti),  $t = 2$

vincoli discrezionali sugli obiettivi:

- Finanziamento pubblico su ATo1.1  $\geq 35$
- Importazioni  $\leq 45$
- Finanziamento Pubblico = 100

**6° Passo** -  $\lambda = 0.5, t = 0.5$  (vengono privilegiati gli obiettivi con scostamenti più contenuti)

vincoli discrezionali sugli obiettivi:

- Finanziamento pubblico su ATo1.1  $\geq 35$
- Importazioni  $\leq 45$
- Finanziamento Pubblico = 100

vincoli sulle variabili decisionali:

- X3.2  $\geq 11.50$

Integrando la lettura della tabella anche con il terzo blocco relativo alle variabili decisionali (le risorse assegnate alle azioni in esame), si evidenziano i seguenti principali risultati:

- Gli impatti generati sugli obiettivi hanno tutti scostamenti molto contenuti rispetto ai valori dell'ottimo ideale corrente per cui non esistono ulteriori margini significativi di manovra. Rispetto alla soluzione di base, tutti gli indicatori evidenziati in verde indicano un miglioramento mentre quelli in rosso un peggioramento, in giallo quelli che pur essendo formalmente un peggioramento di fatto non lo sono in termini economici.
- Quanto agli impatti sui valori delle variabili decisionali, si evidenzia subito come la soluzione di miglior compromesso, quella dello Scenario 6, risulti molto diversa da quella base; altrettanto forti risultano gli scostamenti rispetto ai valori di riferimento, il che ci mostra come le due strade, ragionare sulle sole risorse o ragionare sugli obiettivi, possa

portare a soluzioni molto diverse, ove la prima è decisamente inefficiente ed inefficace.

		INPUT				Pesi A		Pesi Ji										
Esecuzione Obiettivo	min	Val.norm. FO1 (A Ott. Ideale)			0,091	1		0,161	0,5		0,072	1						
	min	Val.norm. FO2 (A Val. Ref.)			0,099	0		0,176	0,5		0,205	0						
	min	FO Globale: FO1*J1+FO2*J2			0,091			0,166	min		0,072	min						
t - Esponente pesi Scostamento Ottimo Ideale																		
Soglie significatività																		
dello Sc "1" rispetto allo Sc "1-1"																		
3%																		
Scen. 0 - Base NON Otim.																		
Scenario 6																		
Scenario 1																		
Base Ottimizzato																		
N.	Max	Obiettivi	U.M.	Ottimo Ideale	Base Non Ottim.	% Ottimo ID	Segno	Vincio	Ottimo Ideale Corrente	Impatto	% Ottimo ID	Segno	Vincio	Impatto	% Ottimo ID	Segno	Vincio	
1	min	Finanz. pubblico (valore iniziale)	€	8000	10000	25,00%			100,00	100,00	25,00%	==	100	100,00	25,00%			
3	Max	Finanziamento privato	€	126,67	117,79	7,01%			108,53	108,33	14,47%			126,67	0,00%		0,0345	
4	Max	Totale investimento	€	226,67	217,79	3,91%			208,53	208,33	8,09%	0,0330		226,67	0,00%		0,0345	
5	Max	Finanziamento pubblico su ATot.1	€	50,00	38,65	22,70%			50,00	50,00	0,00%	0,0001	==	35	28,00%	140,00%		0,0345
6	Max	Finanziamento pubblico su ATot.3	€	37,50	27,30	27,21%			21,43	21,43	42,86%	0,0761		37,50	50,00%		0,0345	
7	Max	Finanziamento pubblico su ATot.5	€	37,50	34,05	9,19%			29,23	28,57	23,81%	0,0567		34,50	8,00%		0,0345	
8	Max	Technology Readiness Level (TRL)	N	1,27	1,22	4,09%			1,18	1,18	7,47%	0,0318		1,27	0,00%		0,0345	
9	Max	Grado di cambiamento atteso (GCA)	N	1,91	1,78	6,49%			1,65	1,64	13,87%	0,0433		1,89	0,79%		0,0345	
10	Max	Classe della tecnologia (CT)	N	2,27	2,18	3,91%			2,09	2,08	6,09%	0,0330		2,27	0,00%		0,0345	
11	Max	Aggiuntività	N	1,24	1,14	7,96%			1,24	1,24	0,20%	0,0052		1,06	15,11%		0,0345	
12	min	Importazioni	€	37,33	49,72	33,20%			44,93	45,00	20,56%	0,0527	<=	45	54,96	47,25%		0,0345
13	Max	Spesa personale	€	113,69	111,93	1,55%			109,93	109,82	3,40%	0,0214		113,31	0,33%		0,0345	
14	Max	Spesa Riceratori	€	37,86	37,44	1,37%			37,96	37,95	0,04%	0,0024		36,79	3,88%		0,0345	
15	Max	Ricavi operativi	€	77,35	75,10	2,80%			73,51	73,51	4,97%	0,0259		77,35	0,00%		0,0345	
16	min	Costi operativi	€	42,44	53,42	25,87%			53,22	53,29	25,56%	0,0587		54,20	27,71%		0,0345	
17	Max	Costo personale	€	14,43	13,58	5,85%			13,98	13,98	3,08%	0,0204		13,48	6,54%		0,0345	
18	Max	MDL	€	23,20	21,77	6,15%			20,26	20,22	12,83%	0,0416		23,15	0,19%		0,0345	
19	Max	VANF investimento totale	€	38,25	49,70	27,04%			-52,06	-52,20	30,37%	0,0681		-47,90	23,11%		0,0345	
21	Max	VANF investimento privato	€	36,25	35,10	3,17%			33,77	33,69	7,08%	0,0309		35,94	0,87%		0,0345	
23	Max	Valore aggiunto diretto	€	36,63	35,35	3,50%			34,20	34,20	6,64%	0,0299		36,63	0,00%		0,0345	
24	Max	Valore aggiunto indiretto	€	21,98	21,21	3,50%			20,52	20,52	6,64%	0,0299		21,98	0,00%		0,0345	
25	Max	Valore aggiunto indotto	€	31,07	29,98	3,50%			29,00	29,00	6,64%	0,0299		31,07	0,00%		0,0345	
26	Max	Valore aggiunto totale	€	89,68	86,54	3,50%			83,73	83,73	6,64%	0,0299		89,68	0,00%		0,0345	
27	Max	Entrate fiscali	€	35,87	34,62	3,50%			33,49	33,49	6,64%	0,0299		35,87	0,00%		0,0345	
29	Max	VAN x Finanza pubblica	€	176,99	167,29	5,48%			158,60	158,60	10,39%	0,0375		176,99	0,00%		0,0345	
30	Max	Surplus	€	23,21	22,56	2,80%			22,05	22,05	4,97%	0,0259		23,21	0,00%		0,0345	
31	Max	Oneri fiscali su costo personale	€	5,77	5,43	5,85%			5,59	5,59	3,08%	0,0204		5,59	6,54%		0,0345	
32	Max	Benefici sociali netti	€	51,75	49,76	3,85%			47,88	47,87	7,50%	0,0318		51,75	0,00%		0,0345	
33	Max	VANE	€	240,93	231,77	3,80%			223,78	223,78	7,12%	0,0310		240,93	0,00%		0,0345	
Altri Indicatori Descrittivi																		
2	min	% finanziamento pubblico	%		45,92%					48,00%				44,12%				
20	Max	TIRF investimento totale	%		-0,10%					-0,65%				0,32%				
22	Max	TIRF investimento privato	%		13,06%					13,31%				12,78%				
28	Max	Entrate fiscali/ Fin. Pubbl.	%		34,62%					33,49%				35,87%				
34	Max	TIRE	%		30,32%					30,33%				30,30%				
Base NON Otim.																		
Vincoli Amm.																		
Scenario 6																		
Scenario 1																		
Base Ottimizzato																		
Valore Riferim.	Azione	Valore Riferim.	Base Non Ottim.	% Riferim.	Lim. Min.	Lim. Max.	Lim. Min.	Lim. Max.	Risorse	% Riferim.	Vincolo Lim. Min.	Vincolo Lim. Max.	Risorse	% Riferim.	Vincolo Lim. Min.	Vincolo Lim. Max.		
	6,49	X1	X1.1	2,59	2,16	16,7%	1,82	3,24	3,01	3,24	25,00%	1,82	3,24	1,82	30,00%	1,82	3,24	
			X1.2	1,95	2,43	25,0%	1,36	2,43	1,36	1,79	1,36	2,43	2,43	25,0%	1,36	2,43		
			X1.3	1,95	1,89	2,8%	1,36	2,43	1,36	2,43	1,95	0,00%	1,36	2,43	1,95	0,00%	1,36	2,43
	4,86	X2	X2.1	1,95	2,16	11,1%	1,36	2,43	2,20	2,43	2,43	25,00%	1,36	2,43	1,36	30,00%	1,36	2,43
			X2.2	1,46	1,35	7,4%	1,02	1,82	1,02	1,46	1,30	10,00%	1,02	1,82	1,82	25,00%	1,02	1,82
			X2.3	1,46	1,35	7,4%	1,02	1,82	1,02	1,82	1,46	0,00%	1,02	1,82	1,46	0,00%	1,02	1,82
	54,05	X3	X3.1	21,62	20,54	5,0%	15,14	27,03	26,80	27,03	27,03	25,00%	15,14	27,03	15,14	30,00%	15,14	27,03
			X3.2	16,22	13,51	16,7%	11,35	20,27	11,35	11,78	11,50	29,08%	11,50	20,27	11,50	29,08%	11,35	20,27
			X3.3	16,22	20,00	23,9%	11,35	20,27	11,35	19,98	14,79	8,81%	11,35	20,27	20,27	25,00%	11,35	20,27
	16,22	X4	X4.1	6,49	6,76	4,2%	4,54	8,11	7,88	8,11	8,11	25,00%	4,54	8,11	4,54	30,00%	4,54	8,11
			X4.2	4,86	4,86	0,0%	3,41	6,08	3,41	3,83	3,41	30,00%	3,41	6,08	6,08	25,00%	3,41	6,08
			X4.3	4,86	4,59	5,6%	3,41	6,08	3,41	6,08	4,86	0,00%	3,41	6,08	4,86	0,00%	3,41	6,08
	18,38	X5	X5.1	7,35	7,03	4,4%	5,15	9,19	8,96	9,19	9,19	25,00%	5,15	9,19	5,15	25,00%	5,15	9,19
			X5.2	5,51	5,14	6,9%	3,86	6,89	3,86	4,29	3,86	30,00%	3,86	6,89	6,89	25,00%	3,86	6,89
			X5.3	5,51	6,22	12,7%	3,86	6,89	3,86	6,89	5,51	0,00%	3,86	6,89	5,96	8,00%	3,86	6,89

Tabella 10 – Risultati dell'ottimizzazione (3).

## Conclusioni

Il presente volume fornisce una panoramica sui possibili elementi da considerare per un potenziamento del comparto aerospaziale in Campania.

Innanzitutto, viene sviluppata un'analisi critica delle principali tematiche di ricerca compatibili con le strategie della RIS3 Campania.

Viene poi analizzata la visione sullo sviluppo futuro della ricerca nel contesto europeo elaborata dai principali enti che lo promuovono.

Considerate le caratteristiche dei programmi di finanziamento attuati da parte dell'UE per supportare il settore aerospaziale negli ultimi anni e le caratteristiche del comparto aerospaziale in Campania, nonché le esperienze di successo di realtà analoghe in Europa, appare evidente che è opportuno definire misure che prevedano interventi mirati e che coinvolgano sia le realtà produttive che gli Enti che si occupano di ricerca di base e applicata.

Nel volume vengono analizzati alcuni modelli organizzativi dai quali emerge che, nonostante la globalizzazione della produzione e del mercato aerospaziale, la "clusterizzazione" delle competenze in prossimità territoriale, è un'arma vincente se si riescono a far collimare gli obiettivi di industria e ricerca con strumenti di accelerazione da parte degli enti locali in relazione alle agevolazioni economiche e burocratiche ma anche alle infrastrutture di base.

Emerge poi dallo studio di scenario, che la Campania può già nel breve puntare su alcune tematiche di punta con misure che mirano a supportare l'utilizzo di nuove tecnologie o altre soluzioni innovative.

Il testo fornisce infine una panoramica sui metodi di valutazione dei risultati della ricerca nonché uno strumento quantitativo di supporto alle decisioni che potrà essere reso operativo grazie alla taratura di opportuni parametri e una stretta collaborazione con il decisore politico.

Nel concreto, si lascia al lettore e a successivi approfondimenti da parte degli organi preposti, l'identificazione di quali possano essere le politiche da attuare nel breve e nel medio periodo.

Tuttavia, essendo l'Aerospazio una realtà fortemente dinamica, è consigliabile tenere aggiornate le informazioni catalogate in questo volume e, con esse, le strategie di supporto allo sviluppo del comparto.

La presenza di un Osservatorio stabile con funzioni analoghe a quelle dell'European Innovation Council di Horizon Europe potrebbe essere di aiuto in questo senso. In particolare, esso potrebbe:

- contribuire alla riqualificazione del sistema aerospaziale regionale proponendo scenari tecnologici e di mercato pluriennali e suggerendo percorsi di riallineamento del sistema locale.
- Fornire attività di supporto alla prioritizzazione delle linee di intervento da attuare (e.g. survey, monitoraggio andamento progetti finanziati, monitoraggi bandi emessi da UE, attività di ricerca svolta dai principali istituti di ricerca, etc.).
- Promuovere azioni orientate allo sviluppo e al consolidamento della rete di relazioni produttive, scientifiche, tecnologiche e di mercato tra imprese, università, e centri di ricerca operanti nel settore.
- Individuare la domanda di servizi (logistici, finanziari, produttivi, gestionali, ecc.) di interesse per le imprese campane che possono essere incanalati all'interno di una visione unitaria.
- Contribuire a ridurre la dipendenza delle PMI dal settore promuovendo la diversificazione tecnologica e di mercato ed esplorando nuove potenziali opportunità per le imprese locali.
- Proporre e organizzare periodicamente iniziative scientifiche e culturali atte a valorizzare le potenzialità locali, sia sul piano della ricerca sia sul piano industriale.

## Bibliografia

- [1] «RIS3 Campania - Strategia regionale di ricerca e innovazione per la specializzazione intelligente | Innovazione Tecnologica e Ricerca Scientifica». <http://innovazione.regione.campania.it/content/ris3-campania-strategia-regionale-di-ricerca-e-innovazione-la-specializzazione-intelligente> (consultato mar. 20, 2020).
- [2] Regione Campania, «CAMPANIA Smart Specialization Strategy: RIS 3 Aerospazio».
- [3] L. Blasi *et al.*, «Deliverable D1 Risultati di Fase F1. Analisi dei percorsi di sviluppo a livello sovraregionale delle traiettorie tecnologiche prioritarie individuate dal processo di elaborazione/revisione della Programmazione Regionale e dei trend di sviluppo per il settore aerospaziale», Unicampania; Unina; Unisannio, Unsalerno, Uniparthenope, mag. 2019.
- [4] Nandakumar G, «Database as a tool in production simulation», *Computers in Industry*, vol. 12, n. 4, pagg. 335–345, 1989.
- [5] S. Brand, «Emerging Aerospace Technologies You’ll Want to Know About», *CMTC Manufacturing Blog*. <https://www.cmtc.com/blog/emerging-aerospace-technologies>.
- [6] A. Gebisa e H. Lemu, «Design for manufacturing to design for Additive Manufacturing: Analysis of implications for design optimality and product sustainability», *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pagg. 724–731, 2017.
- [7] P. Han, «Additive design and manufacturing of jet engine parts», *Engineering*, vol. 3, n. 5, pagg. 648–652, 2017.
- [8] D. Monell e W. Piland, «Aerospace systems design in NASA’s collaborative engineering environment», *Acta Astronautica*, vol. 47, n. 2–9, pagg. 255–264, 2000.
- [9] «Strategic Research and Innovation Agenda», Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe, ITALIA, 2014.
- [10] «Final Report Summary - AFLONEXT (“2nd Generation Active Wing” – Active Flow- Loads & Noise control on next generation wing) | Report Summary | AFLONEXT | FP7-TRANSPORT», *CORDIS | European Commission*. <https://cordis.europa.eu/project/rcn/109010/reporting/en> (consultato feb. 11, 2019).
- [11] D. J. Alderman, «Future wing Hybrid Laminar Flow Control suction system design and analysis», pag. 14, 2015.

- [12] «Safran, powering greener aviation», *Safran*, gen. 25, 2017. <https://www.safran-group.com/media/safran-powering-greener-aviation-20170125> (consultato feb. 10, 2019).
- [13] «Aeroacoustic and Aerodynamic Importance of a CROR Propulsion System with Unequal Rotor Rotation Speeds», *ResearchGate*, Consultato: feb. 10, 2019. [In linea]. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/259896297\\_Aeroacoustic\\_and\\_Aerodynamic\\_Importance\\_of\\_a\\_CROR\\_Propulsion\\_System\\_with\\_Unequal\\_Rotor\\_Rotation\\_Speeds](https://www.researchgate.net/publication/259896297_Aeroacoustic_and_Aerodynamic_Importance_of_a_CROR_Propulsion_System_with_Unequal_Rotor_Rotation_Speeds).
- [14] A. Stürmer e R. A. D. Akkermans, «Multidisciplinary analysis of CROR propulsion systems: DLR activities in the JTI SFWA project», *CEAS Aeronaut J*, vol. 5, n. 3, pagg. 265–277, set. 2014, doi: 10.1007/s13272-014-0105-4.
- [15] B. McKay e A. Barlow, «The UltraFan Engine and Aircraft Based Thrust Reversing», in *48th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit*, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [16] «PR2017110098COEN.pdf». <https://www.siemens.com/press//pool/de/pressemitteilungen/2017/corporate/PR2017110098COEN.pdf> (consultato feb. 10, 2019).
- [17] «Body landing gear». <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/jti-cs2-2017-cfp06-lpa-02-19> (consultato feb. 10, 2019).
- [18] «Prandtlplane ARchitecture for the Sustainable Improvement of Future AirpLanes | Projects | H2020 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/209709/factsheet/en> (consultato feb. 11, 2019).
- [19] «NASA - Blended Wing Body Fact Sheet». <https://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/FS-2003-11-81-LaRC.html> (consultato feb. 11, 2019).
- [20] L. Gipson, «Hybrid Wing Body Goes Hybrid», *NASA*, mar. 02, 2015. <http://www.nasa.gov/content/hybrid-wing-body-goes-hybrid> (consultato feb. 11, 2019).
- [21] «Turboelectric», *NASA Glenn Research Center*. <https://www1.grc.nasa.gov/aeronautics/electrified-aircraft-propulsion-eap/eap-for-larger-aircraft/aircraft-configurations-technologies/turboelectric/> (consultato feb. 11, 2019).
- [22] «Fast Rotorcraft IADP | Clean Sky». <http://www.cleansky.eu/fast-rotorcraft-iadp> (consultato feb. 12, 2019).
- [23] *Regolamento (UE) 748/2012*. 2012.

- [24] «Regolamento (UE) N. 748/2012 della Commissione», *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea*, ago. 21, 2018.
- [25] M. Hinsch, *Industrial aviation management: a primer in European design, production and maintenance organisations*, Springer London. 2018.
- [26] EASA, *Certification Specifications for European Technical Standard Orders*. 2003.
- [27] EASA, «List of ETSO Authorisations». [In linea]. Available at: <https://www.easa.europa.eu/download/etso/etsoa.pdf>.
- [28] «Blade machining moves to a new level», *Sandvik Coromant*. [https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/industrysolutions/condensing\\_power/gas\\_turbines/pages/turbine-blade.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/industrysolutions/condensing_power/gas_turbines/pages/turbine-blade.aspx).
- [29] A. Boulila, M. Boujelbene, C. Fekiri, e A. Hammami, «Optimization of manufacturing complex-shaped gas turbine blades», *Measurement*, vol. 135, pagg. 768–781, 2019.
- [30] S. Kalpakjian e S. Schmid, *Tecnologia Meccanica*. Pearson Prentice Hall, 2008.
- [31] S. Jones e C. Yuan, «Advances in shell moulding for investment casting», *Journal of Materials Processing Technology*, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 135, pagg. 258–265, 2003.
- [32] Y. Dong, K. Bu, Y. Dou, e D. Zhang, «Determination of wax pattern die profile for investment casting of turbine blades», *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 21, pagg. 378–387, 2011.
- [33] R. Schafrik e R. Sprague, «Superalloy technology: a perspective on critical innovations for turbine engines», *Key Engineering Materials*, vol. 380, pagg. 113–134, 2008.
- [34] A. Stalios, «Research and innovation metallurgy made in and for Europe: the perspective of producers and end-users roadmap», European Commission, 2014.
- [35] H. Lohner, B. Kroger-Kallies, B. Rives, e A. Fangmeier, «Aircraft surface protection: principales, application, future trends», presentato al Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, Bremen, 2011.
- [36] J. DeRose, *Aluminium alloy corrosion of aircraft structures: modelling and simulation*. WIT Press, 2013.
- [37] D. Lahidjanian, «External painting of single aisle aircraft in Hamburg», presentato al Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, Bremen, 2011.
- [38] N. Curry, K. Van Every, T. Snyder, e N. Markocsan, «Thermal conductivity analysis and lifetime testing of suspension plasma-sprayed thermal barrier coatings», *Coatings*, vol. 4, n. 3, pagg. 630–650, 2014.
- [39] G. Giorgi, *Corso di impianti di bordo*. 2007.

- [40] «Lightning protection for structures and systems on aircraft utilising lightweight composites», *CORDIS*. <https://cordis.europa.eu/project/rcn/74768/brief/it>.
- [41] «Deicing System Protects General Aviation Aircraft». [https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2007/t\\_5.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2007/t_5.html) (consultato feb. 09, 2019).
- [42] «IDI: Products: Deicing Systems: Electro Impulse Deicing». <http://www.idiny.com/eidi.html> (consultato feb. 08, 2019).
- [43] J. J. Gerardi e R. B. Ingram, «Electro-magnetic expulsion de-icing system», US6102333A, ago. 15, 2000.
- [44] F. Pinto, F. Ciampa, M. Meo, e U. Polimeno, «Multifunctional SMART composite material for in situ NDT/SHM and de-icing», *Smart Mater. Struct.*, vol. 21, n. 10, pag. 105010, ago. 2012, doi: 10.1088/0964-1726/21/10/105010.
- [45] Z. Wang, «Recent progress on ultrasonic de-icing technique used for wind power generation, high-voltage transmission line and aircraft», *Energy and Buildings*, vol. 140, pagg. 42–49, apr. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.01.072.
- [46] A. Bandyopadhyay e S. Bose, *Additive Manufacturing*. CRC Press, 2016.
- [47] I. Gibson, D. Rosen, e B. Stucker, *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. Springer, 2014.
- [48] W. Steen e J. Mazumder, *Laser material processing*. Springer, 2010.
- [49] D. Usera, V. Alfieri, F. Caiazzo, P. Argenio, G. Corrado, e E. Ares, «Re-design and manufacturing of a metal towing hook via laser additive manufacturing with powder bed», *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pagg. 825–832, 2017.
- [50] F. Caiazzo, V. Alfieri, G. Corrado, e P. Argenio, «Laser powder-bed fusion of Inconel 718 to manufacture turbine», *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 93, pagg. 4023–4031, 2017.
- [51] M. Dassisti *et al.*, «Benchmarking the sustainable manufacturing paradigm via automatic analysis and clustering of scientific literature: an Italian technologist perspective», presentato al 16th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Lexington, 2018.
- [52] F. Cardaropoli, V. Alfieri, F. Caiazzo, e V. Sergi, «Dimensional analysis for the definition of the influence of process parameters in selective laser melting of Ti-6Al-4V alloy», *Journal of Engineering Manufacture*, vol. 7, n. 226, pagg. 1136–1142, 2012.

- [53] W. Du, Q. Bai, e B. Zhang, «A novel method for additive/subtractive hybrid manufacturing of metallic parts», *Procedia Manufacturing*, vol. 5, pagg. 1018–1030, 2016.
- [54] F. Caiazza e V. Alfieri, «Simulation of laser heating of aluminum and model validation via two-color pyrometer and shape assessment», *Materials*, vol. 11, n. 1506, pagg. 1–13, 2018.
- [55] J. Gausemeier, M. Wall, e S. Peter, «Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing, exploring the research landscape», University of Paderborn, 2013. [In linea]. Available at: [https://dmrc.uni-paderborn.de/fileadmin/dmrc/06\\_Downloads/01\\_Studies/DMRC\\_Study\\_Strategy.pdf](https://dmrc.uni-paderborn.de/fileadmin/dmrc/06_Downloads/01_Studies/DMRC_Study_Strategy.pdf).
- [56] J. Li, C. Myant, e B. Wu, «The current landscape for Additive Manufacturing research», Imperial College of London, 2016. [In linea]. Available at: [https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/39726/2/The%20current%20landscape%20for%20additive%20manufacturing%20research\\_AMN.pdf](https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/39726/2/The%20current%20landscape%20for%20additive%20manufacturing%20research_AMN.pdf).
- [57] «A landscape for the future of high value manufacturing in the UK», Technology Strategy Board, 2012.
- [58] «Additive manufacturing: strategic research agenda», European project AM-platform, 2014. [In linea]. Available at: <https://www.rm-platform.com/linkdoc/AM%20SRA%20-%20February%202014.pdf>.
- [59] T. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. Nguyen, e D. Hui, «Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges», *Composites Part B*, n. 143, pagg. 172–196, 2018.
- [60] J. Foust, «SpaceX unveils its “21st century spaceship», *NewSpace Journal*, mag. 30, 2014.
- [61] «General Electric, Hardware meets software in advanced manufacturing, Fairfield, Connecticut», 2015. [www.ge.com/stories/hardware-meets-software-advancedmanufacturing](http://www.ge.com/stories/hardware-meets-software-advancedmanufacturing).
- [62] T. Richardson *et al.*, «Fusing self-reported and sensor data from mixed-reality training», 2014.
- [63] J. Nocedal e S. J. Wright, *Numerical\_Optimization*. Springer, 2006.
- [64] H. A. Eiselt e C.-L. Sandblom, «Heuristic Algorithms», in *Integer Programming and Network Models*, H. A. Eiselt e C.-L. Sandblom, A c. di Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2000, pagg. 229–258.
- [65] J. J. Michalek e P. Y. Papalambros, «BB-ATC: Analytical Target Cascading Using Branch and Bound for Mixed Integer Nonlinear Programming», presentato al ASME 2006 International Design Engineering

- Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Philadelphia, Pennsylvania, USA, set. 2006.
- [66] R. T. Haftka e L. T. Watson, «Decomposition theory for multidisciplinary design optimization problems with mixed integer quasiseparable subsystems», *Optim Eng*, vol. 7, n. 2, pagg. 135–149, giu. 2006, doi: 10.1007/s11081-006-6836-2.
- [67] S. S. Rao, «Game theory approach for multiobjective structural optimization», *Computers & Structures*, vol. 25, n. 1, pagg. 119–127, gen. 1987, doi: 10.1016/0045-7949(87)90223-9.
- [68] K. Lewis e F. Mistree, «Modeling Interactions in Multidisciplinary Design: A Game Theoretic Approach», *AIAA Journal*, vol. 35, n. 8, pagg. 1387–1392, ago. 1997, doi: 10.2514/2.248.
- [69] E. D’Amato, I. Notaro, F. Silvestre, e M. Mattei, «Bi-level flight path optimization for UAV formations», in *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, giu. 2017, pagg. 690–697, doi: 10.1109/ICUAS.2017.7991425.
- [70] E. D’Amato, M. Mattei, e I. Notaro, «Bi-level Flight Path Planning of UAV Formations with Collision Avoidance», *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 93, n. 1–2, pagg. 193–211, feb. 2019, doi: 10.1007/s10846-018-0861-1.
- [71] R. B. Myerson, *GAME THEORY*. Harvard University Press, 2013.
- [72] J. R. R. A. Martins e A. B. Lambe, «Multidisciplinary Design Optimization: A Survey of Architectures», *AIAA Journal*, vol. 51, n. 9, pagg. 2049–2075, set. 2013, doi: 10.2514/1.J051895.
- [73] J. Ahn e J. H. Kwon, «An efficient strategy for reliability-based multidisciplinary design optimization using BLISS», *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 31, n. 5, pagg. 363–372, mag. 2006, doi: 10.1007/s00158-005-0565-6.
- [74] J. Che e S. Tang, «Research on integrated optimization design of hypersonic cruise vehicle», *Aerospace Science and Technology*, vol. 12, n. 7, pagg. 567–572, ott. 2008, doi: 10.1016/j.ast.2008.01.008.
- [75] M. K. Chan e J. Alonso, «Supersonic Aircraft Optimization for Minimizing Drag and Sonic Boom», Stanford University, Stanford, CA, 2003.
- [76] J. Jung *et al.*, «Conceptual Design of a Reusable Unmanned Space Vehicle Using Multidisciplinary Optimization», *Int. J. Aeronaut. Space Sci.*, vol. 19, n. 3, pagg. 743–750, set. 2018, doi: 10.1007/s42405-018-0079-2.
- [77] T. Tsuchiya, Y. Takenaka, e H. Taguchi, «Multidisciplinary Design Optimization for Hypersonic Experimental Vehicle», *AIAA Journal*, vol. 45, n. 7, pagg. 1655–1662, 2007, doi: 10.2514/1.26668.

- [78] M. A. Lobbia, «Multidisciplinary Design Optimization of Waverider-Derived Crew Reentry Vehicles», *Journal of Spacecraft and Rockets*, vol. 54, n. 1, pagg. 233–245, 2017, doi: 10.2514/1.A33253.
- [79] A. Viviani, L. Iuspa, e A. Arovitola, «Multi-objective optimization for re-entry spacecraft conceptual design using a free-form shape generator», *Aerospace Science and Technology*, vol. 71, pagg. 312–324, dic. 2017, doi: 10.1016/j.ast.2017.09.030.
- [80] A. Viviani, L. Iuspa, e A. Arovitola, «An optimization-based procedure for self-generation of Re-entry Vehicles shape», *Aerospace Science and Technology*, vol. 68, pagg. 123–134, set. 2017, doi: 10.1016/j.ast.2017.05.009.
- [81] J. Zhao e R. Zhou, «Reentry trajectory optimization for hypersonic vehicle satisfying complex constraints», *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 26, n. 6, pagg. 1544–1553, dic. 2013, doi: 10.1016/j.cja.2013.10.009.
- [82] Z. J. Czech, *Introduction to Parallel Computing*. Cambridge University Press, 2017.
- [83] «Navigation of Airborne Vehicle with Integrated Space and Atomic Signals-NAVISAS». <https://sites.google.com/tekever.com/navisas-site>.
- [84] «Enhanced Situational Awareness through Video Integration with ADS-B Surveillance Infrastructure on Airports | Projects | H2020 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/213199/factsheet/en> (consultato mar. 15, 2019).
- [85] «Galileo-EGNOS as an Asset for UTM Safety and Security | Projects | H2020 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/214081/factsheet/en>.
- [86] «2017 - SESAR Solutions catalogue.pdf». .
- [87] «SAPIENT project: Deliverables», D9.4, D10.1, D2.1, D4.2.
- [88] «SESAR Joint Undertaking | Drone Critical Communications - DroC2om». <https://www.sesarju.eu/projects/droc2om>.
- [89] «DeSIRE - Demonstration of Satellites enabling the Insertion of RPAS in Europe | ESA Business Applications». <https://business.esa.int/projects/desire>.
- [90] N.-E. E. Faouzi, H. Leung, e A. Kurian, «Data fusion in intelligent transportation systems: Progress and challenges – A survey», *Information Fusion*, vol. 12, n. 1, pagg. 4–10, gen. 2011, doi: 10.1016/j.inffus.2010.06.001.
- [91] Y. Bar-Shalom, P. K. Willett, e X. Tian, *Tracking and data fusion: a handbook of algorithms*. Storrs, Conn: YBS Publ, 2011.
- [92] R. Olfati-Saber e J. S. Shamma, «Consensus Filters for Sensor Networks and Distributed Sensor Fusion», in *Proceedings of the 44th IEEE*

- Conference on Decision and Control*, Seville, Spain, 2005, pagg. 6698–6703, doi: 10.1109/CDC.2005.1583238.
- [93] E. D’Amato, I. Notaro, M. Mattei, e G. Tartaglione, «Attitude and position estimation for an UAV swarm using consensus Kalman filtering», in *2015 IEEE Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace)*, giu. 2015, pagg. 519–524, doi: 10.1109/MetroAeroSpace.2015.7180711.
- [94] «See and Avoid - SKYbrary Aviation Safety», nov. 11, 2018. [https://www.skybrary.aero/index.php/See\\_and\\_Avoid](https://www.skybrary.aero/index.php/See_and_Avoid) (consultato nov. 11, 2018).
- [95] W. Rosenkrans, «Detect, sense and avoid», *AeroSafety World*, vol. 6, pag. 35, 2008.
- [96] *Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation*. .
- [97] «SATELLITE-BASED ADS-B FOR LOWER SEPARATION-MINIMA APPLICATION (SALSA) | Projects | H2020», *CORDIS | European Commission*. [https://cordis.europa.eu/project/rcn/200860\\_it.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/200860_it.html) (consultato nov. 27, 2018).
- [98] J. Pellebergs, «THE MIDCAS PROJECT», presentato al 27TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE AERONAUTICAL SCIENCES, 2010, [In linea]. Available at: [http://www.icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2010/PAPERS/821.PDF](http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2010/PAPERS/821.PDF).
- [99] «SESAJ Joint Undertaking | Sense and avoid technology for small drones - PercEvite». <https://www.sesarju.eu/projects/percevite>.
- [100] N. Giuditta, S. Robles, A. Viguria, S. Castillo, e M. Cordero, «PROSES – Network Communications for the Future European ATM system», pag. 5.
- [101] N. M. Paczan, J. Cooper, e E. Zakrzewski, «Integrating unmanned aircraft into NextGen automation systems», in *2012 IEEE/AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, Williamsburg, VA, ott. 2012, pagg. 8C3-1-8C3-9, doi: 10.1109/DASC.2012.6382440.
- [102] «Chinese UAV Development and Implications for Joint Operations». <http://cimsec.org/chinese-uav-development-and-implications-for-joint-operations/33474>.
- [103] «A-Perspective-on-South-Korea-Proliferated-Drones.pdf». Consultato: feb. 27, 2019. [In linea]. Available at: <http://drones.cnas.org/wp-content/uploads/2016/05/A-Perspective-on-South-Korea-Proliferated-Drones.pdf>.
- [104] *Aviation System Block Upgrades*. .
- [105] «Remotely Piloted Aircraft system (RPAS) Concept of OperationS (CONOPS) for International ifr operations», pag. 30.
- [106] «NASA Technology Roadmaps TA 15: Aeronautics», pag. 72, 2015.

- [107] «ACARE - Strategic Research & Innovation Agenda, 2017 Update».
- [108] «European\_Drones\_Outlook\_Study\_2016.pdf». Consultato: feb. 27, 2019. [In linea]. Available at: [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European\\_Drones\\_Outlook\\_Study\\_2016.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf).
- [109] «Unmanned Aircraft Systems (UAS)», *Eurocontrol*, ago. 06, 2013. <https://www.eurocontrol.int/uas>.
- [110] «European ATM Master Plan: Drone roadmap». Consultato: feb. 26, 2019. [In linea]. Available at: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European%20ATM%20Master%20Plan%20Drone%20roadmap.pdf>.
- [111] «Unmanned Air Transport / Mobility | Future Sky». <https://www.futuresky.eu/projects/unmanned-air-transport-mobility>.
- [112] «DeSIRE II - Demonstration of the use of Satellites complementing Remotely Piloted Aircraft Systems integrated in non-segregated airspace – Second Element | ESA Business Applications». <https://business.esa.int/projects/desire-ii>.
- [113] «RAID Project». <http://raid-sjuproject.eu/>.
- [114] «DREAMS U-space Scenarios v1.0.pdf». <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/projects/DREAMS%20U-space%20Scenarios%20v1.0.pdf> (consultato feb. 27, 2019).
- [115] «SESAR Joint Undertaking | Concept of Operations for European UTM Systems - CORUS». <https://www.sesarju.eu/projects/corus>.
- [116] «SESAR Joint Undertaking | D-flight internet of drones environment - DIODE». <https://www.sesarju.eu/node/3200>.
- [117] «Welcome to the SESAR project - Mobility and Transport - European Commission», *Mobility and Transport*. /transport/modes/air/sesar\_en (consultato nov. 21, 2018).
- [118] SESAR Joint Undertaking, «Exploring the boundaries of air traffic management A summary of SESAR exploratory research results», 2018. [In linea]. Available at: [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/ER\\_Results\\_2016\\_2018.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/ER_Results_2016_2018.pdf).
- [119] Q. A. Shams *et al.*, «Self-contained avionics sensing and flight control system for small unmanned aerial vehicle», US7962252B2, giu. 14, 2011.
- [120] Ames Research Center, «Safe2Ditch Technology». <https://technology.nasa.gov/patent/LAR-TOPS-243>.
- [121] DARPA, «Fast Lightweight Autonomy (FLA)». <https://www.darpa.mil/program/fast-lightweight-autonomy>.

- [122] «CapTech Guidance, Navigation and Control». <https://www.eda.europa.eu/what-we-do/activities/activities-search/captech-guidance-navigation-and-control>.
- [123] European Defence Agency, «Towards Enhanced European Future Military Capabilities- EDA Role in Research and Technologies». [In linea]. Available at: <https://www.eda.europa.eu/docs/default-source/eda-publications/eda-r-t-2016-a4---v09>.
- [124] K. Klausen, T. I. Fossen, T. A. Johansen, e A. P. Aguiar, «Cooperative path-following for multirotor UAVs with a suspended payload», presentato al 2015 IEEE Conference on Control Applications (CCA), 2015, [In linea]. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7320800>.
- [125] A. Sivakumar e C. K.-Y. Tan, «UAV Swarm Coordination Using Cooperative Control for Establishing a Wireless Communications Backbone», in *Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Volume 3 - Volume 3*, Richland, SC, 2010, pagg. 1157–1164, Consultato: mar. 14, 2019. [In linea]. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1838186.1838188>.
- [126] «Real Time COordination and control of Multiple heterogeneous unmanned aerial vehicles | Projects | FP5 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/61848/factsheet/en>.
- [127] «Collaborative Aerial Robotic Workers | Projects | H2020 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/194158/factsheet/en>.
- [128] «SWARM - Command & Control of cooperative fleet of heterogeneous Mini/Micro UAVs - Vitrociset». <http://www.vitrociset.it/prodotto/id/215/swarm---command-&-control-of-cooperative-fleet-of-heterogeneous-mini/micro-uavs>.
- [129] «SESAR Joint Undertaking | Drone Critical Communications - DroC2 om». <https://www.sesarju.eu/projects/droc2om>.
- [130] B. Allen, «NASA, Boeing Testing Synthetic Vision Technologies», NASA, ott. 31, 2017. <http://www.nasa.gov/feature/langley/nasa-boeing-testing-synthetic-vision-technologies> (consultato mar. 14, 2019).
- [131] «RETINA project: deliverables», D1.1, D2.1, D4.1, D4.3, D5.1, D 6.2. Consultato: nov. 27, 2018. [In linea]. Available at: <http://www.retina-atm.eu/doc/D6.2.pdf>.
- [132] G. L. Calhoun, M. H. Draper, M. F. Abernathy, M. Patzek, e F. Delgado, «Synthetic vision system for improving unmanned aerial vehicle

- operator situation awareness», in *Enhanced and Synthetic Vision 2005*, mag. 2005, vol. 5802, pagg. 219–231, doi: 10.1117/12.603421.
- [133] J. Tadema, J. Koeners, e E. Theunissen, «Synthetic vision to augment sensor-based vision for remotely piloted vehicles», in *Enhanced and Synthetic Vision 2006*, mag. 2006, vol. 6226, pag. 62260D, doi: 10.1117/12.663747.
- [134] Y. H. Shin, S. Lee, e J. Seo, «Autonomous safe landing-area determination for rotorcraft UAVs using multiple IR-UWB radars», *Aerospace Science and Technology*, vol. 69, pagg. 617–624, ott. 2017, doi: 10.1016/j.ast.2017.07.018.
- [135] R. K. Rangel, M. P. Brandão, L. N. F. Guimarães, e F. de M. Porto, «Development of an Uav Navigation System Through a Synthetic Vision», SAE International, Warrendale, PA, SAE Technical Paper 2007-01–2561, nov. 2007. doi: 10.4271/2007-01-2561.
- [136] M. S. Kadavasal e J. H. Oliver, «Towards Sensor Enhanced Virtual Reality Teleoperation in a Dynamic Environment», presentato al ASME 2007 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, gen. 2007, pagg. 1057–1065, doi: 10.1115/DETC2007-34695.
- [137] «Benefits | Clean Sky». <http://www.cleansky.eu/benefits>.
- [138] N. T. Birch, «2020 vision: the prospects for large civil aircraft propulsion», *The Aeronautical Journal*, vol. 104, n. 1038, pagg. 347–352, ago. 2000, doi: 10.1017/S0001924000063971.
- [139] R. T. Naayagi, «A review of more electric aircraft technology», in *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, apr. 2013, pagg. 750–753, doi: 10.1109/ICEETS.2013.6533478.
- [140] «Review on signal-by-wire and power-by-wire actuation for more electric aircraft - ScienceDirect». <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936117300894> (consultato feb. 18, 2019).
- [141] «Development of high power density electrical actuators | Projects | FP7 |CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/100898/factsheet/it> (consultato feb. 18, 2019).
- [142] «The next step towards more-electric aircraft | Result In Brief |CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/111098/brief/en> (consultato feb. 18, 2019).
- [143] «Final Report Summary - ACTUATION2015 (ACTUATION 2015: Modular Electro Mechanical Actuators for ACARE 2020 Aircraft and Helicopters) | Report Summary | ACTUATION2015 | FP7-TRAN-

- SPORT | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/101114/reporting/en> (consultato feb. 18, 2019).
- [144] «Periodic Reporting for period 1 - VALEMA (VALidation tests of ElectroMechanical Actuators and its dedicated control units at TRL 6 level) | Report Summary | VALEMA | H2020 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/211049/reporting/en> (consultato feb. 18, 2019).
- [145] «Development of Electromechanical Actuators and Electronic control Units for Flight Control Systems | Projects | H2020 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/rcn/208051/factsheet/en> (consultato feb. 18, 2019).
- [146] P. W. Wheeler, J. C. Clare, A. Trentin, e S. Bozhko, «An overview of the more electrical aircraft», *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, vol. 227, n. 4, pagg. 578–585, apr. 2013, doi: 10.1177/0954410012468538.
- [147] P. Wheeler e S. Bozhko, «The More Electric Aircraft: Technology and challenges.», *IEEE Electrification Magazine*, vol. 2, n. 4, pagg. 6–12, dic. 2014, doi: 10.1109/MELE.2014.2360720.
- [148] M. Hirst, A. McLoughlin, P. J. Norman, e S. J. Galloway, «Demonstrating the more electric engine: a step towards the power optimised aircraft», *IET Electric Power Applications*, vol. 5, n. 1, pagg. 3–13, gen. 2011, doi: 10.1049/iet-epa.2009.0285.
- [149] N. Morioka, H. Oyori, D. Kakiuchi, e K. Ozawa, «More Electric Engine Architecture for Aircraft Engine Application», presentato al ASME 2011 Turbo Expo: Turbine Technical Conference and Exposition, gen. 2011, pagg. 477–486, doi: 10.1115/GT2011-46765.
- [150] M. J. Provost, «The More Electric Aero-engine: a general overview from an engine manufacturer», in *2002 International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (Conf. Publ. No. 487)*, giu. 2002, pagg. 246–251, doi: 10.1049/cp:20020122.
- [151] J. Felder, H. Kim, e G. Brown, «Turboelectric Distributed Propulsion Engine Cycle Analysis for Hybrid-Wing-Body Aircraft», in *47th AIAA Aerospace Sciences Meeting including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition*, Orlando, Florida, gen. 2009, doi: 10.2514/6.2009-1132.
- [152] «Batterie litio-aria, gli ultimi progressi». <http://www.rinnovabili.it/innovazione/batterie-litio-aria/> (consultato dic. 14, 2018).
- [153] «Batteria Litio Metallo: come funziona (e quanto può durare)». <https://mytech.panorama.it/litio-metallo-perche-la-batteria-dei-sogni-puo-diventare-realta/> (consultato dic. 14, 2018).

- [154] «Batterie Litio-Metallo: il doppio dell'autonomia per droni, auto e smartphone». <https://systemscue.it/mit-batterie-litio-metallo/9934/> (consultato dic. 14, 2018).
- [155] «Batterie a stato solido, cosa sono e perché sono il futuro delle auto elettriche», *Il Sole 24 ORE*. <http://www.ilsole24ore.com/art/motori/2017-12-13/batterie-stato-solido-cosa-sono-e-perche-sono-futuro-auto-elettriche-120746.shtml?uclid=AEYS7dRD> (consultato dic. 14, 2018).
- [156] B. Silberg, «Electric airplanes (batteries included)», *Climate Change: Vital Signs of the Planet*. <https://climate.nasa.gov/news/2482/electric-airplanes-batteries-included> (consultato dic. 17, 2018).
- [157] D. D. Santiago *et al.*, «Development of Structural Energy Storage for Aeronautics Applications», pag. 19, 2017.
- [158] Jane, Frederick Thomas, *Jane's All The World's UAV*. .
- [159] Y. Gibbs, «NASA Dryden Fact Sheet - Helios Prototype», NASA, ago. 13, 2015. <http://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-068-DFRC.html> (consultato gen. 21, 2019).
- [160] «Solar Impulse To Fly Across America | Solar System Exploration Research Virtual Institute». <https://sservi.nasa.gov/articles/solar-impulse-to-fly-across-america/> (consultato gen. 21, 2019).
- [161] «NASA - The Puffin: A Passion for Personal Flight». <https://www.nasa.gov/topics/technology/features/puffin.html> (consultato gen. 21, 2019).
- [162] N. Lapeña-Rey, J. Mosquera, E. Bataller, e F. Ortí, «First Fuel-Cell Manned Aircraft», *Journal of Aircraft*, vol. 47, n. 6, pagg. 1825–1835, 2010, doi: 10.2514/1.42234.
- [163] «AgustaWestland Unveils “Project Zero” Tilt Rotor Technology Demonstrator | AgustaWestland», mag. 05, 2013. <https://web.archive.org/web/20130505004338/http://www.agustawestland.com/news/agustawestland-unveils-project-zero-tilt-rotor-technology-demonstrator> (consultato gen. 21, 2019).
- [164] «AgustaWestland Zero». [https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20130130&DB=EPODOC&locale=en\\_EP&CC=EP&NR=2551190A1&KC=A1&ND=5](https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20130130&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=EP&NR=2551190A1&KC=A1&ND=5) (consultato gen. 21, 2019).
- [165] «CityAirbus demonstrator passes major propulsion testing milestone», *Airbus*. <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/10/cityairbus-demonstrator-passes-major-propulsion-testing-mileston.html> (consultato gen. 21, 2019).

- [166] «Airbus Helicopters powers up CityAirbus “iron bird” rig». <https://www.flightglobal.com/news/articles/airbus-helicopters-powers-up-cityairbus-iron-bird-444351/> (consultato gen. 21, 2019).
- [167] «X-57 Maxwell». <https://www.nasa.gov/specials/X57> (consultato gen. 21, 2019).
- [168] «Zunum Aero». <https://zunum.aero/> (consultato gen. 21, 2019).
- [169] «Hypstair home». <http://www.hypstair.eu/> (consultato gen. 21, 2019).
- [170] «Diamond Aircraft 1st Flight Multi-engine Hybrid Electric Aircraft». <http://www.diamond-air.at/en/media-center/press-releases/news/article/diamond-aircraft-1st-flight-multi-engine-hybrid-electric-aircraft/> (consultato gen. 21, 2019).
- [171] «H3PS – High Power High Scalability Aircraft Hybrid Powertrain | Projects | H2020», *CORDIS | European Commission*. <https://cordis.europa.eu/project/rcn/214642/factsheet/en> (consultato feb. 02, 2019).
- [172] «Sustainable and Green Engines (SAGE) | Clean Sky». <http://www.cleansky.eu/sustainable-and-green-engines-sage>.
- [173] «Systems for Green Operations (SGO) | Clean Sky». <http://www.cleansky.eu/systems-for-green-operations-sgo> (consultato feb. 18, 2019).
- [174] B. Farahmand, *Fracture Mechanics of Metals, Composites, Welds, and Bolted Joints: Application of LEFM, EPFM, and FMDM Theory*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [175] B. Farahmand, *Virtual testing and predictive modeling*. Springer, 2014.
- [176] S. Hahn, «Transfer of training from simulations in civilian and military workforces: Perspectives from the current body of literature», *Unpublished manuscript*, 2010.
- [177] «Lost wax casting of turbine blades», *Prodways Technologies*. <http://www.prodways.com/en/lost-wax-casting-of-turbine-blades/>.
- [178] N. Stuart, «Jewel in the crown: Rolls-Royce’s single-crystal turbine blade casting foundry», *the Engineer*, set. 19, 2017. <https://www.theengineer.co.uk/rolls-royce-single-crystal-turbine-blade/>.
- [179] M. Hughes, «Challenges for gas turbine engine components in power generation», *Procedia Structural Integrity*, vol. 7, pagg. 33–35, 2017.
- [180] F. Caiazzo, «Laser-aided Directed Metal Deposition of Ni-based superalloy powder», *Optics & Laser Technology*, vol. 103, pagg. 193–198, 2018, doi: [doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.01.042](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.01.042).
- [181] H. Soykan e Y. Karakas, «Preparation of homogeneous feedstocks for injection moulding of Zirconia-based ceramics», *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, vol. 25, n. 4, pagg. 315–319, 2001.

- [182] A. Kazemi, M. Faghihi-Sani, M. Nayyeri, M. Mohammadi, e M. Hajfathalian, «Effect of zircon content on chemical and mechanical behavior of silica-based ceramic cores», *Ceramics International*, vol. 40, n. 1(A), pagg. 1093–1098, 2014.
- [183] E.-H. Kim, G.-H. Cho, Y. Yoo, S. Seo, e Y.-G. Jung, «Development of a new process in high functioning ceramic core without shape deformation», *Ceramics International*, vol. 39, n. 8, pagg. 9041–9045, 2013.
- [184] S. Jones e C. Yuan, «Advances in shell moulding for investment casting», *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 135, pagg. 258–265, 2003.
- [185] T. Roy, «Analysis of casting defects in foundry by computerized simulations: a new approach along with some industrial case studies», presentato al Transactions of 61st Indian Foundry Congress, 2013.
- [186] H.Wu, D.Li, Y.Tang, B.Sun, e D.Xu, «Rapid fabrication of alumina-based ceramic cores for gas turbine blades by stereolithography and gelcasting», *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, n. 18–19, pagg. 5886–5891, 2009.
- [187] J. Bons, A. Ameri, J. Gregory, R. Prenter, e A. Hossain, «Revolutionizing turbine cooling with micro-architectures enabled by Direct Metal Laser Sintering», Ohio State University Aerospace Research Center, 2015.
- [188] J. Bouwmeester e J. Guo, «Survey of worldwide pico-and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology», vol. 67, 2010.
- [189] E. Buchen, «SpaceWorks' 2014 Nano/Microsatellite Market Assessment», pag. 5.
- [190] R. Sandau, «Status and trends of small satellite missions for Earth observation», *Acta Astronautica*, vol. 66, n. 1, pagg. 1–12, gen. 2010, doi: 10.1016/j.actaastro.2009.06.008.
- [191] R. Sandau, K. Brieß, e M. D'Errico, «Small satellites for global coverage: Potential and limits», *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 65, n. 6, pagg. 492–504, nov. 2010, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2010.09.003.
- [192] C. Cappelletti, S. Battistini, e F. Graziani, «Small launch platforms for micro-satellites», *Advances in Space Research*, vol. 62, n. 12, pagg. 3298–3304, dic. 2018, doi: 10.1016/j.asr.2018.05.004.
- [193] Y. Sun e H. Smith, «Review and prospect of supersonic business jet design», *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 90, pagg. 12–38, apr. 2017, doi: 10.1016/j.paerosci.2016.12.003.
- [194] L. Phan, Y. Yamaoka, e D. Mavris, «Implementation and Benefits of Variable Geometry Wings for a Supersonic Business Jet», in *AIAA's 3rd*

- Annual Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Forum*, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [195] P. Sturdza, «Extensive Supersonic Natural Laminar Flow on the Aerion Business Jet», in *45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, 0 vol., American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2007.
- [196] L. M. MACK, «Linear Stability Theory and the Problem of Supersonic Boundary- Layer Transition», *AIAA Journal*, vol. 13, n. 3, pagg. 278–289, 1975, doi: 10.2514/3.49693.
- [197] L. Gipson, «Low-Boom Flight Demonstration», NASA, feb. 15, 2018. [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/lowboom/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/lowboom/index.html) (consultato feb. 12, 2019).
- [198] L. Gipson, «NASA’s Experimental Supersonic Aircraft Now Known as X-59 QueSST», NASA, giu. 27, 2018. <http://www.nasa.gov/aero/nasa-experimental-supersonic-aircraft-x-59-quesst> (consultato feb. 12, 2019).
- [199] S. Paweł e P. Tym, «Overcoming sonic boom for supersonic business jets», pag. 8.
- [200] B. Liebhardt, K. Lütjens, R. R. Tracy, e A. O. Haas, «Exploring the Prospect of Small Supersonic Airliners - A Case Study Based on the Aerion AS2 Jet», in *17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [201] R. H. Lugg, «Hypersonic aircraft», US20150108269A1, apr. 23, 2015.
- [202] J. Steelant, «LAPCAT: High-Speed Propulsion Technology», pag. 38.
- [203] esa, «LAPCAT II», *European Space Agency*. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Engineering\\_Technology/LAPCAT\\_II](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/LAPCAT_II) (consultato feb. 12, 2019).
- [204] TEC-MPC, «Skylon Assessment Repor», 1, mag. 2011.
- [205] «Russo-HYPLANE\_CNS-II-Quarto-Ambiente-Napoli.pdf». Consultato: feb. 12, 2019. [In linea]. Available at: [https://www.instituteforthe-future.it/wp-content/uploads/2018/07/Russo-HYPLANE\\_CNS-II-Quarto-Ambiente-Napoli.pdf](https://www.instituteforthe-future.it/wp-content/uploads/2018/07/Russo-HYPLANE_CNS-II-Quarto-Ambiente-Napoli.pdf).
- [206] R. Yamashiro e M. Sippel, «PRELIMINARY DESIGN STUDY OF STAGED COMBUSTION CYCLE ROCKET ENGINE FOR SPACELINER HIGH-SPEED PASSENGER TRANSPORTATION CONCEPT», pag. 9.
- [207] E. Seedhouse, «SpaceShipTwo: VSS Enterprise», in *Virgin Galactic: The First Ten Years*, E. Seedhouse, A c. di Cham: Springer International Publishing, 2015, pagg. 65–85.
- [208] «Scaled Composites: SpaceShipOne». <http://scaled.mineralstudios.com/projects/tierone> (consultato feb. 12, 2019).

- [209] «High Altitude Platform Market: Challenges to Industry Growth, Size, Share, Forecast 2024 - openPR». <https://www.openpr.com/news/1188748/High-Altitude-Platform-Market-Challenges-to-Industry-Growth-Size-Share-Forecast-2024.html>.
- [210] R. Pant, N. Komerath, e A. Kar, *Application of Lighter-Than-Air Platforms for Power Beaming, Generation and Communications*. .
- [211] J. S. Aber, «Lighter-than-air platforms for small-format aerial photography», *tkas*, vol. 107, n. 1, pagg. 39–44, apr. 2004, doi: 10.1660/0022-8443(2004)107[0039:LPSAP]2.0.CO;2.
- [212] C. Bolkcom, «Potential Military Use of Airships and Aerostats», LIBRARY OF CONGRESS WASHINGTON DC CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE, CRS-RS21886, set. 2006. Consultato: feb. 24, 2019. [In linea]. Available at: <https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA520366>.
- [213] I. Schaefer, R. Kueke, e P. Lindstrand, «Airships as Unmanned Platforms: Challenge and Chance», in *1st UAV Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [214] T. C. Tozer e D. Grace, «High-altitude platforms for wireless communications», *Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 13, n. 3, pagg. 127–137, giu. 2001, [In linea]. Available at: [https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ecej\\_20010303](https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ecej_20010303).
- [215] G. M. Djuknic, J. Freidenfelds, e Y. Okunev, «Establishing wireless communications services via high-altitude aeronautical platforms: a concept whose time has come?», *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, n. 9, pagg. 128–135, set. 1997, doi: 10.1109/35.620534.
- [216] D. Grace, J. Thornton, G. P. White, C. Spillard, e D. A. J. Pearce, «The European HeliNet Broadband Communications Application – An Update on Progress», pag. 9.
- [217] «CAPANINA». <http://www.capanina.org/>.
- [218] «COST297 - HAPCOS». <http://www.capanina.org/hapcos/>.
- [219] N. Lewyckyj, J. Biesemans, e J. Everaerts, «OSIRIS: a European project using a High Altitude Platform for forest fire monitoring», in *Safety and Security Engineering II*, Malta, giu. 2007, vol. I, pagg. 205–213, doi: 10.2495/SAFE070201.
- [220] «Summary report of DoD funded Lighter-Than-Air Vehicles».
- [221] I. F. Akyildiz, X. Wang, e N. J. Colella, «HALO (High Altitude Long Operation): a broadband wireless metropolitan area network», in *1999 IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications*

- (MoMuC'99) (Cat. No.99EX384), nov. 1999, pagg. 271–275, doi: 10.1109/MOMUC.1999.819500.
- [222] T. Nakajima *et al.*, «Overview of the Atmospheric Brown Cloud East Asian Regional Experiment 2005 and a study of the aerosol direct radiative forcing in east Asia», *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, n. D24, dic. 2007, doi: 10.1029/2007JD009009.
- [223] «Stratobus: Why this stratospheric airship is already being called a “Swiss knife” in the sky | Thales Group». <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/magazine/stratobus-why-stratospheric-airship-already-being-called-swiss-knife-sky> (consultato feb. 24, 2019).
- [224] A. Dumas, S. Anzillotti, F. L. Zumbo, e M. Trancossi, «Photovoltaic stratospheric isle for conversion in hydrogen as energy vector», *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, vol. 223, n. 6, pagg. 769–777, giu. 2009, doi: 10.1243/09544100JAERO447.
- [225] D. Vucinic, A. Sunol, M. Trancossi, A. Dumas, e G. Gaviraghi, «MAAT Cruiser/Feeder Airship: Connection and Passenger Exchange Modes», presentato al SAE 2013 AeroTech Congress & Exhibition, set. 2013, doi: 10.4271/2013-01-2113.
- [226] A. Dumas e M. Subhah, «Multipurpose Airship in Stratosphere for Telecommunications, Environmental-monitoring and Reconnaissance». [In linea]. Available at: [http://www.justlex.it/wp-content/uploads/2017/07/RIXI\\_MASTER-ita.pdf](http://www.justlex.it/wp-content/uploads/2017/07/RIXI_MASTER-ita.pdf).
- [227] D. Djurdjanovic, J. Lee, e J. Ni, «Watchdog Agent—an infotonics-based prognostics approach for product performance degradation assessment and prediction», *Advanced Engineering Informatics*, vol. 17, n. 3, pagg. 109–125, lug. 2003, doi: 10.1016/j.aei.2004.07.005.
- [228] «A Survey of Fault Detection, Isolation, and Reconfiguration Methods - IEEE Journals & Magazine». <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5282515> (consultato feb. 20, 2019).
- [229] «Model-based fault-detection and diagnosis – status and applications - ScienceDirect». <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367578805000052> (consultato feb. 20, 2019).
- [230] J. Marzat, H. Piet-Lahanier, F. Damongeot, e E. Walter, «Model-based fault diagnosis for aerospace systems: a survey», *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, vol. 226, n. 10, pagg. 1329–1360, ott. 2012, doi: 10.1177/0954410011421717.

- [231] A. R. Ganesan, «Holographic and Laser Speckle Methods in Non-Destructive Testing», pag. 5.
- [232] «Open rotor Engine WELDED parts inspection using MINIaturizable NonDestructive Techniques | WELDMINDT Project | FP7 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/id/323427> (consultato apr. 14, 2020).
- [233] «COMPARative evaluation of NDT techniques for high-quality bonded composite REpairs | COMPARE Project | FP7 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/id/270669> (consultato apr. 14, 2020).
- [234] «Pulsed eddy current inspection system for pipeline health monitoring | PRECISE Project | H2020 | CORDIS | European Commission». <https://cordis.europa.eu/project/id/763257> (consultato apr. 14, 2020).
- [235] A. Parrott e L. Warshaw, «Industry 4.0 and the digital twin», in *Deloitte University Press*, 2017, pagg. 1–17.
- [236] D. Chen, X. Wang, e J. Zhao, «Aircraft maintenance decision system based on real-time condition monitoring», *Procedia Engineering*, vol. 29, pagg. 765–769, 2012.
- [237] K. Gramopadhye *et al.*, «Using ASSIST for aircraft inspection training: Performance and usability analysis», *FAA Training*, vol. 1, pag. 1, 2001.
- [238] T. Robertson, J. Bischof, M. Geyman, e E. Lise, «Reducing Maintenance Error with Wearable Technology», in *2018 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, gen. 2018, pagg. 1–6, doi: 10.1109/RAM.2018.8463068.
- [239] «sito web: The Area: augmented reality can increase productivity», *AREA*, ago. 20, 2015. <https://thearea.org/augmented-reality-can-increase-productivity/> (consultato apr. 02, 2020).
- [240] H. Regenbrecht, G. Baratoff, e W. Wilke, «Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries», *IEEE computer graphics and applications*, vol. 25, n. 6, pagg. 48–56, 2005.
- [241] E. Viles, D. Puente, M. Alvarez, e F. Alonso, «Improving the corrective maintenance of an electronic system for trains», *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2007.
- [242] D. R. Vieira e P. L. Loures, «Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Fundamentals and Strategies: An Aeronautical Industry Overview», *International Journal of Computer Applications*, vol. 135, n. 12, pagg. 21–29, feb. 2016, Consultato: apr. 02, 2020. [In linea]. Available at: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume135/number12/24101-2016908563>.

- [243] M. McFadden e D. S. Worrells, «Global outsourcing of aircraft maintenance», *Journal of Aviation Technology and Engineering*, vol. 1, n. 2, pag. 4, 2012.
- [244] «AC 120-16F (Cancelled) - Air Carrier Maintenance Programs – Document Information». [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/advisory\\_circulars/index.cfm/go/document.information/document-tID/1020485](https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/document-tID/1020485) (consultato apr. 02, 2020).
- [245] A. T. Association e others, «ATA MSG-3 Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance», *Development*, 2007.
- [246] H. K. Al-Fares e S. O. Duffuaa, «Maintenance forecasting and capacity planning», in *Handbook of Maintenance Management and Engineering*, Springer, 2009, pagg. 157–190.
- [247] A. Gandomi e M. Haider, «Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics», *International journal of information management*, vol. 35, n. 2, pagg. 137–144, 2015.
- [248] D. Dinis, A. Barbosa-Póvoa, e Â. P. Teixeira, «Valuing data in aircraft maintenance through big data analytics: A probabilistic approach for capacity planning using Bayesian networks», *Computers & Industrial Engineering*, vol. 128, pagg. 920–936, 2019.
- [249] A. Wibowo, B. Tjahjono, e T. Tomiyama, «Designing contracts for aero-engine MRO service providers: models and simulation», 2017.
- [250] Europäische Kommission e Europäische Kommission, A. c. di, *Flightpath 2050: Europe's vision for aviation ; maintaining global leadership and serving society's needs ; report of the High-Level Group on Aviation Research*. Luxembourg: Publ. Off. of the Europ. Union, 2011.
- [251] «CleanSky 2 Joint Undertaking Third Amended Bi\_Annual Work Plan and Budget 2018-2019». Consultato: mar. 13, 2020. [In linea]. Available at: [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/jtis/h2020-wp1819-cleansky\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/jtis/h2020-wp1819-cleansky_en.pdf).
- [252] «CleanSky 2 Joint Undertaking Technical Program». Consultato: mar. 13, 2020. [In linea]. Available at: [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/guide-appl/jti/h2020-guide-techprog-cleansky-ju\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/guide-appl/jti/h2020-guide-techprog-cleansky-ju_en.pdf).
- [253] «CleanSky 2: Horizon Europe: Preparing the future of aeronautics in Europe». ago. 2018, Consultato: mar. 13, 2020. [In linea]. Available at: <https://www.cleansky.eu/sites/default/files/inline-files/csju-skyline-25.pdf>.
- [254] «SESAR2020 Multi-annual Work Programme», pag. 565, 2020.

- [255] SESAR Joint Undertaking, *European ATM Master Plan: The roadmap for delivering High performing Aviation for Europe*, 1° ed. 2015.
- [256] SESAR Committee, «SESAR 2020 Concepts of Operations (Edition 2017)». 2017.
- [257] European Commission, «European ATM Master Plan- Executive View». dic. 2015.
- [258] «Single European Sky - Mobility and Transport - European Commission», *Mobility and Transport*, nov. 21, 2018. /transport/modes/air/ses\_en (consultato nov. 21, 2018).
- [259] «PRORA - Programma Nazionale Ricerca Aerospaziale - Miur». <https://www.istruzione.it/archivio/web/ricerca/enti-di-ricerca/elenco-enti/prora.html> (consultato mar. 13, 2020).
- [260] MIUR, «Programma Nazionale per la Ricerca 2015 – 2020». Consultato: mar. 13, 2020. [In linea]. Available at: [https://www.istruzione.it/allegati/2016/PNR\\_2015-2020.pdf](https://www.istruzione.it/allegati/2016/PNR_2015-2020.pdf).
- [261] «CIRA». <https://www.cira.it/it>.
- [262] «Sito web DNW: Wind Tunnels». <https://www.dnw.aero//wind-tunnels/> (consultato mar. 13, 2020).
- [263] DLR, «DLR Portal», *DLR Portal*. [https://www.dlr.de/dlr/en/desktop-default.aspx/tabid-10378/566\\_read-426/](https://www.dlr.de/dlr/en/desktop-default.aspx/tabid-10378/566_read-426/) (consultato feb. 27, 2019).
- [264] «Sito web ONERA». <https://www.onera.fr/en> (consultato mar. 13, 2020).
- [265] «INTA». <http://www.inta.es/WEB/INTA/en/quienes-somos/> (consultato dic. 02, 2019).
- [266] «ESA Budget 2019». [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2019/01/ESA\\_Budget\\_2019](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/01/ESA_Budget_2019) (consultato mar. 12, 2020).
- [267] «Europe's Spaceport». [http://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Transportation/Europe\\_s\\_Spaceport](http://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Europe_s_Spaceport) (consultato mar. 12, 2020).
- [268] «European Space Research and Technology Centre (ESTEC)». [http://www.esa.int/About\\_Us/ESTEC/European\\_Space\\_Research\\_and\\_Technology\\_Centre\\_ESTEC2](http://www.esa.int/About_Us/ESTEC/European_Space_Research_and_Technology_Centre_ESTEC2) (consultato dic. 02, 2019).
- [269] «ESOC». [http://www.esa.int/About\\_Us/ESOC](http://www.esa.int/About_Us/ESOC) (consultato dic. 02, 2019).
- [270] «ESRIN overview». [http://www.esa.int/About\\_Us/ESRIN/ESRIN\\_overview](http://www.esa.int/About_Us/ESRIN/ESRIN_overview) (consultato dic. 02, 2019).
- [271] «The European Astronaut Centre». [http://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Astronauts/The\\_European\\_Astronaut\\_Centre](http://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Astronauts/The_European_Astronaut_Centre) (consultato mar. 12, 2020).

- [272] «ESAC». [http://www.esa.int/About\\_Us/ESAC](http://www.esa.int/About_Us/ESAC) (consultato dic. 02, 2019).
- [273] «<https://www.asi.it/>», ASI. <https://www.asi.it/> (consultato mar. 12, 2020).
- [274] «La Piattaforma Spazio “SPIN-IT”». <http://www.spin-it.eu/> (consultato mar. 12, 2020).
- [275] «Sito web MIUR: Cluster tecnologici nazionali», *Miur - Ministero dell'istruzione - Ministero dell'università e della ricerca*. <https://www.miur.gov.it/cluster> (consultato mar. 13, 2020).
- [276] «Sito web CTNA (Cluster Tecnologico Nazionale Aerospazio)». <https://www.ctna.it/> (consultato mar. 13, 2020).
- [277] «Sito web Distretto Tecnologico Aerospaziale della Campania». <https://www.daccampania.com/> (consultato mar. 13, 2020).
- [278] «Sito web Distretto Tecnologico Aerospaziale Puglia». <https://www.dtascarl.org/> (consultato mar. 13, 2020).
- [279] «Sito web Distretto Aerospaziale Lazio», *LazioInnova*. <http://www.lazioinnova.it/reti-cluster-innovazione/aerospazio-e-sicurezza/> (consultato mar. 13, 2020).
- [280] «Sito web Lombardia Aerospace», *Aerospace Lombardia*. <https://www.aerospacelombardia.it/> (consultato mar. 13, 2020).
- [281] «Sito web Regione Toscana: Distretti Tecnologici». <https://www.regione.toscana.it/-/distretti-tecnologici-della-toscana> (consultato mar. 13, 2020).
- [282] «Sito web IR4I (Innovation & Research for Industry)». <http://www.ir4i.it/> (consultato mar. 13, 2020).
- [283] «Sito web Distretto Aerospaziale Piemonte». <https://www.finpiemonte.it/dap> (consultato mar. 13, 2020).
- [284] «Sito web Umbria Aerospace Cluster». <http://umbriaaerospace.com/> (consultato mar. 13, 2020).
- [285] «Sito web Distretto aerospaziale della Sardegna». <http://www.dassardegna.eu/> (consultato mar. 13, 2020).
- [286] «Sito web Distretto Aerospaziale Lucano». [http://www.pofesr.basilicata.it/fesr2014-20/wp-content/uploads/downloads/2015/03/Aerospazio\\_SchedaLavoro.pdf](http://www.pofesr.basilicata.it/fesr2014-20/wp-content/uploads/downloads/2015/03/Aerospazio_SchedaLavoro.pdf) (consultato mar. 13, 2020).
- [287] A. V. B. 3 R. T. C. 64403 31405 T. cedex 4 F. P. d'accèsTéléphone: +335 61 14 80 30Fax: +335 62 26 46 25, «Aerospace Valley», *Aerospace Valley*. <https://www.aerospace-valley.com/> (consultato dic. 02, 2019).
- [288] «HEGAN-Basque Aerospace Cluster». <https://www.hegan.com/Corporativa/Default.aspx> (consultato dic. 02, 2019).

- [289] «bavAIRia e.V.» <https://www.bavairia.net/en/bavairia-ev/> (consultato dic. 02, 2019).
- [290] «LR BW - Forum Luft- und Raumfahrt Baden-Württemberg». <https://www.lrbw.de/en/home/> (consultato dic. 02, 2019).
- [291] «Midlands Aerospace Alliance». <https://www.midlandsaerospace.org.uk/> (consultato dic. 02, 2019).
- [292] «Sito web EACP». <http://www.eacp-aero.eu/> (consultato mar. 13, 2020).
- [293] «Sito web AIAD». <http://www.aiad.it/> (consultato mar. 13, 2020).
- [294] «Sito web AeroSpace and Defence Industries Association of Europe». [/aerospace-and-defence-industries-association-of-europe](http://aerospace-and-defence-industries-association-of-europe) (consultato mar. 13, 2020).
- [295] «Sito web EASA», EASA. <https://www.easa.europa.eu/node> (consultato mar. 13, 2020).
- [296] «Sito web EUROCONTROL». <https://www.eurocontrol.int/> (consultato mar. 13, 2020).
- [297] «Italian ENAV adopts datalink across airspace – Air Traffic Management». <https://airtrafficmanagement.keypublishing.com/2018/04/26/italian-enav-adopts-datalink-across-airspace/> (consultato mar. 01, 2019).
- [298] «Sito web ENAC», ENAC. <http://www.enac.gov.it/> (consultato mar. 13, 2020).
- [299] R. W. Bessette, «Measuring the Economic Impact of University-Based Research», *The Journal of Technology Transfer*, vol. 28, n. 3, pagg. 355–361, ago. 2003, doi: 10.1023/A:1024917601088.
- [300] C. Donovan, «The qualitative future of research evaluation», *Science and Public Policy*, vol. 34, n. 8, pagg. 585–597, 2007.
- [301] DEST, Department of Education, Science and Training 2007, «Research Quality Framework: Assessing the Quality and Impact of Research in Australia - RQF Submission Specifications. Canberra: Commonwealth of Australia», 2007.
- [302] A. J. Bailetti e J. R. Callahan, «Assessing the impact of university interactions on an R&D organization», *R&D Management*, vol. 22, n. 2, pagg. 145–156, 1992, doi: 10.1111/j.1467-9310.1992.tb00803.x.
- [303] C. Donovan, «The Governance of Social Science and Everyday Epistemology», *Public Administration*, vol. 83, n. 3, pagg. 597–615, 2005, doi: 10.1111/j.0033-3298.2005.00464.x.
- [304] A. J. Salter e B. R. Martin, «The economic benefits of publicly funded basic research: a critical review», *Research policy*, vol. 30, n. 3, pagg. 509–532, 2001.

- [305] L. Bach, N. Conde-Molist, M.-J. Ledoux, M. Matt, e V. Schaeffer, «Evaluation of the economic effects of Brite-Euram programmes on the European industry», *Scientometrics*, vol. 34, n. 3, pagg. 325–349, 1995.
- [306] A. Banal-Estañol, I. Macho-Stadler, e D. Pérez-Castrillo, «Research output from university–industry collaborative projects», *Economic Development Quarterly*, vol. 27, n. 1, pagg. 71–81, 2013.
- [307] J. H. Grossman, P. P. Reid, e R. P. Morgan, «Contributions of academic research to industrial performance in five industry sectors», *The Journal of Technology Transfer*, vol. 26, n. 1–2, pagg. 143–152, 2001.
- [308] L. Martiniello, «UTPF, La misurazione del value for money nell’esperienza italiana e straniera: Analisi dei rischi e PSC». mar. 2009.
- [309] C. Ponsiglione, I. Quinto, e G. Zollo, «Regional Innovation Systems as Complex Adaptive Systems: The Case of Lagging European Regions», *Sustainability*, vol. 10, n. 8, pag. 2862, 2018.
- [310] UK Government, «Evaluation of ATI Aerospace R&D Programme - Process and implementation review». 2007, Consultato: apr. 20, 2020. [In linea]. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/evaluation-of-ati-aerospace-rd-programme-process-and-implementation-review>.
- [311] S. Wooding, S. Hanney, M. Buxton, e J. Grant, «The returns from arthritis research. Volume 1: Approach analysis and recommendations», RAND EUROPE LEIDEN (NETHERLANDS), 2004.
- [312] A. N. Link, «Assessing the economic impacts of university R&D and identifying roles for technology transfer officers», *Industry and Higher Education*, vol. 14, n. 1, pagg. 24–32, 2000.
- [313] Public Governance Committee, «Public-Private Partnerships: In Pursuit of Risk Sharing and Value for Money - OECD». 2008, Consultato: apr. 20, 2020. [In linea]. Available at: <https://www.oecd.org/gov/budgeting/public-privatepartnershipsinpursuitofrisksharingandvalueformoney.htm>.
- [314] The European House-Ambrosetti, «Studio realizzato da The European House – Ambrosetti in collaborazione con Leonardo, “La filiera italiana dell’aerospazio, della difesa e della sicurezza: come creare sviluppo industriale, nuove competenze tecnologiche e crescita per il sistema Paese”», set. 2018. [In linea]. Available at: <https://www.leonardocompany.com/it/news-and-stories-detail/-/detail/filiera-italiana-dell-aerospazio>.

- [315] P. L. Scandizzo, R. Nardone, e C. Ferrarese, *Impatto sul sistema economico italiano dei flussi di spesa corrente e d'investimento del settore Aerospazio/Difesa*, Open Economics srl, dicembre 2015. Open Economics srl, 2015.
- [316] P. Rostirolla e F. Monacciani, *Un modello di ottimizzazione multiobiettivo per la selezione degli interventi in un Piano Regionale dei Trasporti*. FrancoAngeli, 2008, pagg. 291–299.
- [317] O. Romano e P. Rostirolla, «“A multiobjective model for selecting treatment facilities in a Regional Special Waste Management Plan”», vol. 4, pagg. 671–678, 2011, Consultato: apr. 01, 2020. [In linea]. Available at: <https://unora.unior.it/handle/11574/31773#.XoTSuogzZPY>.
- [318] M. Rostirolla e P. Rostirolla, «“A multivariate and multicriterial approach for the SWOT analysis”», vol. 11, pagg. 719–724, 2011, Consultato: apr. 01, 2020. [In linea]. Available at: <https://unora.unior.it/handle/11574/39547#.XoTXiIgzZPY>.
- [319] S. Ercolano, P. Rostirolla, e F. Monacciani, «Assessing plans and programs for historic centers regeneration: an interactive Multicriteria approach», in *Multicriteria and Multiagent Decision Making with applications*, Springer Berlin Heidelberg, 2013, pagg. 151–162.
- [320] P. Cefarelli, F. Rossi, M. Rostirolla, e P. Rostirolla, «Analisi degli impatti e programmazione della spesa pubblica nel P.O.R. della Campania», in *Metodi, Modelli e Tecnologie dell'Informazione a Supporto delle Decisioni. Parte seconda: applicazioni*, Franco Angeli, Milano, 2008, pagg. 55–64.
- [321] V. Chankong e Y. Y. Haimes, *Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology*. Courier Dover Publications, 2008.
- [322] Y. Y. Haimes e V. Chankong, *Decision Making with Multiple Objectives: Proceedings of the Sixth International Conference on Multiple-Criteria Decision Making, Held at the Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, USA, June 4–8, 1984*. Springer Science & Business Media, 1984.
- [323] A. Charnes e W. W. Cooper, *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, vol. 1. Wiley, New York, 1961.
- [324] E. Esposito e P. Rostirolla, «Un approccio multicriterio alla gestione di un piano con più decisori», in *Metodi di valutazione nella pianificazione urbana e territoriale, quaderno n° 6*, CNR I.R.I.S., 1989.
- [325] E. Esposito e P. Rostirolla, «Un approccio multicriterio per la scelta degli investimenti pubblici», *Ricerca operativa nel project management*, 1987, Consultato: apr. 01, 2020. [In linea]. Available at: [https://unora.unior.it/handle/11574/30490#.XoUA\\_4gzZPY](https://unora.unior.it/handle/11574/30490#.XoUA_4gzZPY).
- [326] P. Nijkamp e H. Voogd, «An Informal Introduction to Multicriteria Evaluation», in *Multiple Criteria Decision Methods and Applications*:

- Selected Readings of the First International Summer School Acireale, Sicily, September 1983*, G. Fandel e J. Spronk, A. c. di Berlin, Heidelberg: Springer, 1985, pagg. 61–84.
- [327] M. Zeleny, *Linear Multiobjective Programming*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [328] S. Zionts, «Multiple criteria decision making: An overview and several approaches», in *Working Paper 454, School of Management*, State University of New York at Buffalo.
- [329] Regione Campania, «Rapporto Valutazione Intermedia 2003, POR 2000-2006».
- [330] R. Brancati e P. Rostirolla, «Un approccio metodologico per la valutazione intermedia: il caso del programma operativo della Campania 2000-2006», vol. 3, 2003, Consultato: apr. 02, 2020. [In linea]. Available at: <https://unora.unior.it/handle/11574/38064#.XoXIZ4gzZPY>.
- [331] Regione Campania, «Rapporto Valutazione Intermedia 2005, POR 2000-2006».
- [332] M. Rostirolla e P. Rostirolla, *Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico: Un modello di supporto alle decisioni per la programmazione*. I.D.E.A, Napoli, 2012.
- [333] R. Arbolino e P. Rostirolla, «Renewable Energy and Energy Saving: a decision support system for planning», Siviglia, 2014.
- [334] P. Rostirolla, «Un progetto di microcredito per lo sviluppo dell'imprenditorialità femminile», in *Città Metropolitana. L'occasione per riparare il territorio*, Giordano Editore, Napoli.

MEMBRI DEL TAVOLO

**Università degli Studi della Campania “Luigi Vanvitelli”**

Massimiliano Mattei - *Coordinatore del Tavolo*

Luciano Blasi

Alfonso Marino

Lucia Mauriello

Immacolata Notaro

Paolo Pariso

**Università degli Studi di Napoli Federico II**

Domenico Accardo

Giancarmine Fasano

Michele Grassi

Antonio Moccia

Cristina Ponsiglione

I. Quinto

Adolfo Renga

Giancarlo Rufino

A.E. Tirri

**Università di Napoli L’Orientale**

Antonio Lopes

Marco Rostirolla

Pietro Rostirolla

**Università degli Studi di Napoli Parthenope**

Giuseppe Del Core

Tiziana Pirozzi

Luigi Toscano

**Università degli Studi di Salerno**

Vittorio Alfieri

Paolo Argenio

Fabrizia Caiazzo

**Università degli Studi del Sannio**

Pasquale Ragno

Matteo Mario Savino



**Il Torcoliere** • *Officine Grafico-Editoriali d'Ateneo*  
Università degli studi di Napoli "L'Orientale"  
Finito di stampare nel mese di dicembre 2021

Nella programmazione europea 2014/2020\*, l'attuazione delle opportune sinergie tra il sistema Universitario e la Regione Campania ha realizzato progetti che hanno fornito elementi di conoscenza e competenze di carattere tecnico-scientifico. I contributi hanno già supportato e rafforzeranno l'azione regionale amministrativa nei processi di sviluppo del sistema delle imprese campane operanti nei diversi settori. Un'azione amministrativa efficace ed efficiente è da sempre il punto di partenza per l'utilizzo dei Fondi Strutturali dell'Unione Europea finalizzati allo sviluppo economico, sociale e territoriale dei paesi membri. In tal senso non sorprende che per la Regione Campania, nell'ambito della propria programmazione, il tema del rafforzamento della capacità amministrativa abbia assunto un'importanza strategica, tale da essere declinato come una delle priorità di investimento per la crescita regionale che contribuisce allo sviluppo del nostro Paese.

\* POR FSE 2014/2020 – OT 11 – Programmazione interventi capacità istituzionale. Attuazione DGR 743 del 20/12/16.

ISBN 978-88-6719-203-8

