

## Curriculum Vitae Ai Fini Della Pubblicazione

### INFORMAZIONI PERSONALI

Alessandro Zavoli

Nazionalità Italiana

### OCCUPAZIONE PER LA QUALE SI CONCORRE

Ricercatore a tempo determinato di tipologia B (RTD-B),  
Settore Scientifico Disciplinare ING-IND/03 (Meccanica del volo)

### OCCUPAZIONE ATTUALE

da Marzo 2019  
ad oggi

Ricercatore a tempo determinato di tipologia A (RTD-A)  
SSD ING-ING/03 (Meccanica del Volo) - Settore Concorsuale 09/A1  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma  
**Studio della guida navigazione e controllo di lanciatori con definizione della traiettoria ottimale di ascesa in orbita / Guidance, navigation and control of a launch vehicle and search for the optimal ascent trajectory.**

### ESPERIENZA PROFESSIONALE

da Novembre 2018  
a Dicembre 2018

Incarico di lavoro autonomo / consulenza professionale  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma  
**Controllo del punto di caduta di lanciatori**

- Sviluppo del modello matematico e per il calcolo della traiettoria di caduta degli stadi esausti di un lanciatore ed integrazione in un codice di ottimizzazione di traiettoria

da Novembre 2014  
ad Ottobre 2018

Assegno di Ricerca SSD ING-ING/03 (Meccanica del Volo)  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma  
**Sviluppo e validazione del sistema di determinazione e controllo di assetto di un nano-satellite**

- Sviluppo e integrazione dei sistemi di determinazione d'assetto e di controllo per una piattaforma di sorveglianza satellitare
- Analisi di sensibilità delle prestazioni del sistema ai parametri incerti dell'hardware di misura/attuazione
- Validazione del sistema in condizioni nominali mediante prove real-time Hardware-in-The-Loop condotte in remoto sul satellite assemblato.
- Valutazione di leggi di controllo avanzate per satelliti sotto-attuati

da Settembre 2014  
ad Ottobre 2014

Borsa di studio avente ad oggetto attività di ricerca  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma  
**Definizione e sviluppo del sistema di controllo di assetto di un satellite**

- Sviluppo delle funzionalità base del sistema di determinazione d'assetto

da Settembre 2013  
ad Agosto 2014

Assegno di Ricerca SSD ING-ING/03 (Meccanica del Volo)  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma  
**Pianificazione di traiettorie in volo atmosferico e spaziale**

- Attività di ricerca nell'ambito dell'ottimizzazione di traiettoria di un lanciatore multistadio con metodi indiretti, per la gestione simultanea di vincoli di flusso termico e punto di caduta degli stadi esausti
- Analisi delle manovre di rendezvous cooperativo di una coppia di satelliti



da Marzo 2013  
ad Agosto 2013

Borsa di studio avente ad oggetto attività di ricerca  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma

**Definizione e sviluppo del sistema di controllo di assetto di un satellite**

- Studio preliminare dell'architettura del sistema di determinazione e controllo d'assetto per un nano-satellite di sorveglianza, definizione dei modi operativi ed analisi delle condizioni di transizione
- Sviluppo delle funzionalità base del sistema di controllo e valutazione delle prestazioni nominali del sistema

da Ottobre 2012  
a Dicembre 2012

Incarico di collaborazione continuata e continuativa  
Centro Ricerca Aerospaziale Sapienza - CRAS, "Sapienza" Università di Roma

**Verifica di un codice di calcolo per l'ottimizzazione di manovre di satelliti**

- Attività di verifica e documentazione del software sviluppato per il progetto Simbol-X, terminata con il collaudo presso il Centre national d'études spatiales (CNES), Tolosa

da Novembre 2011  
a Gennaio 2012

Incarico di collaborazione continuata e continuativa  
Centro Ricerca Aerospaziale Sapienza - CRAS, "Sapienza" Università di Roma

**Sviluppo di software per l'ottimizzazione del deployment cooperativo di una formazione di satelliti in orbita HEO**

- Implementazione delle tecniche di ottimizzazione indiretta specifiche per problemi di controllo ottimo bang-bang ed applicazione al caso della missione Simbol-X

ATTIVITÀ SCIENTIFICA

Meccanica Orbitale  
& Ottimizzazione

Presso il dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale dell'Università di Roma Sapienza è stata svolta a partire da Novembre 2009 una continua attività di ricerca su diversi temi propri della meccanica del volo spaziale, fra cui ottimizzazione di traiettorie spaziali, dinamica e controllo d'assetto di satelliti, e guida e controllo di un lanciatore.

La ricerca nell'ambito dell'ottimizzazione di traiettorie spaziali è stata condotta utilizzando una ampia varietà di metodi, sia di tipo indiretto che diretto, ma anche più recenti tecniche che fanno uso di algoritmi di intelligenza artificiale. Ugualmente diversificate sono state le applicazioni, che spaziano da trasferimenti fra orbite geocentriche, a missioni interplanetarie e a traiettorie di salita di lanciatori.

I **metodi indiretti** sono stati inizialmente investigati con maggior attenzione, in virtù del loro ridotto costo computazionale e del maggior interesse che esercitano dal punto di vista scientifico. Lo studio si è concentrato su di una specifica classe di problemi di controllo ottimo in cui la legge di controllo è discontinua ("bang-bang"), molto frequenti in ambito spaziale ma estremamente difficili da trattare numericamente con le tecniche tradizionali. Nella tesi di dottorato [1] sono presentate due tecniche specifiche per il trattamento di questi problemi: una basata su "regolarizzazione e continuazione" ed una basata sull'approccio "multi-arco". Queste tecniche vengono discusse e per la prima volta confrontate in modo sistematico, definendone i rispettivi pregi ed i limiti applicativi. Al fine di estendere ulteriormente le capacità di indagine al caso di missioni che coinvolgono contemporaneamente due o più satelliti in grado di manovrare simultaneamente, viene proposto un originale metodo multi-arco a scale temporali multiple [4] ed applicato al problema del **rendezvous cooperativo**. Quanto sviluppato è stato applicato con successo al design preliminare della missione italo-francese Simbol-X [2], un problema è decisamente peculiare, in quanto coinvolge una coppia di satelliti che si muovono su orbite fortemente ellittiche, tanto che la "struttura" ottimale della missione si modifica a seconda della data di lancio a causa della perturbazione di terzo corpo della Luna in modo non predicibile a priori [18, 19].

I metodi **diretti** basati su solutori **stocastici** sono particolarmente flessibili e di facile implementazione; tuttavia, il loro utilizzo in casi di interesse applicativo richiede una profonda conoscenza delle loro caratteristiche e funzionamento, al fine di ottenere soluzioni di elevata qualità, contenendo allo stesso tempo il costo computazionale. Fra le applicazioni studiate, risulta essere di grande attualità ed interesse l'analisi di missioni di **rimozione attiva di detriti**. Lo studio è stato focalizzato sulla soluzione del problema di ottimizzazione combinatoria legato alla scelta della sequenza e dei tempi di visita di una serie di oggetti da rimuovere in un assegnato catalogo. L'approccio proposto prevede una originale formulazione del problema in termini di variabili di permutazione e permette una rapida soluzione mediante l'uso di algoritmi genetici che sfruttano operatori di crossover e mutazione specificamente pensati per questo tipo di codifica [15, 47], superando i limiti sulla dimensione del catalogo tipici dei metodi di ricerca deterministici ad albero, quali A\* [11]. Un'altra interessante applicazione dei metodi di ottimizzazione stocastica ha riguardato l'analisi della **traiettoria di cattura** per una sonda interplanetaria diretta verso Europa [7] che sfrutta una sequenza di flyby delle lune di Giove per minimizzare il costo del trasferimento. Lo stesso strumento è stato utilizzato per studiare

modifiche o finali alternativi della missione JUICE volti ad aumentare il ritorno scientifico dei flyby di Callisto [37].

L'interesse del candidato per le tematiche legate all'ottimizzazione di traiettorie spaziali e allo sviluppo di sempre nuove metodologie di calcolo è confermato dalla ripetuta partecipazione come membro del team "Sapienza-Politecnico di Torino" alla **Global Trajectory Optimisation Competition** [20, 22, 33], competizione internazionale cui partecipano i principali poli di ricerca del settore, nell'ambito della quale sono stati ottenuti lusinghieri risultati, fra cui il primo posto nel 2012 (GTOC6) con il progetto di un elaborato tour delle lune di Giove per una sonda dotata di propulsione elettrica [3].

Machine learning  
per traiettorie spaziali

Nell'ambito dello studio di traiettorie spaziali si colloca anche una più recente attività orientata allo studio di tecniche di **machine learning**, e più precisamente apprendimento per rinforzo (**Reinforcement Learning**, RL), che si pongono sulla frontiera della ricerca nell'ambito di problemi di ottimizzazione complessi. A differenza delle tecniche di ottimizzazione tradizionali, che permettono di ottenere la soluzione ottima di un problema deterministico e privo di incertezze, l'approccio RL consente di individuare una soluzione nominale ed una associata legge di controllo a loop chiuso intrinsecamente robuste rispetto alle incertezze di modello o alla presenza di altri disturbi dinamici. Il processo di apprendimento che porta all'individuazione della legge di controllo ottimale prevede una libera interazione fra l'agente (ovvero la versione corrente della legge di controllo) e l'ambiente (ovvero una rappresentazione matematica della dinamica del sistema), ed è guidato dalla ricerca del massimo valore atteso di una funzione di utilità che svolge il ruolo della funzione obiettivo in un classico problema di controllo ottimo. L'utilizzo di reti neurali permette di parametrizzare in modo computazionalmente efficiente anche leggi di controllo piuttosto complicate.

Un originale contributo apportato in questo ambito di ricerca riguarda lo studio di un **trasferimento Terra-Marte** con propulsione elettrica, che considera la presenza di **incertezze sul modello dinamico**, sulle misure di posizione e velocità della sonda interplanetaria ed errori di attuazione dei controlli [12]. La tecnica proposta mostra risultati particolarmente incoraggianti anche in presenza di eventi di improvvisa assenza di spinta, tipicamente difficili da analizzare con tecniche deterministiche. Questa metodologia risulta inoltre facilmente generalizzabile ad altri scenari di missione. Ad esempio, risultati preliminari sono stati presentati recentemente per il problema del **trasferimento a spinta finita fra orbite cislunari** nel problema ristretto dei tre corpi [45]. La validità dell'approccio sviluppato è stata analizzata e discussa mediante confronto con metodi più consolidati, quale *model predictive control*, nel caso di una **manovra terminale di rendezvous** in presenza di un vincolo conico di visibilità, assumendo condizioni iniziali random e un modello dinamico parzialmente incerto [17, 42].

Traiettorie di ascesa  
di lanciatore

L'analisi della traiettoria di **ascesa ottimale di un lanciatore multistadio** è un problema affascinante e di forte interesse applicativo, ma di difficile soluzione a causa della presenza di una dinamica fortemente non lineare e della necessità di includere numerosi vincoli sulla traiettoria. La competenza maturata nell'utilizzo dei metodi di ottimizzazione di traiettorie spaziali ha permesso di instaurare su questo tema una solida collaborazione con l'Agenzia Spaziale Europea, nel corso della quale è stata svolta a partire dal 2015 una sistematica attività di supporto e cross-check per l'analisi delle traiettorie del lanciatore VEGA e delle configurazioni derivate (VEGA-C, VEGA-Light, VEGA-E). La tecnica di ottimizzazione diretta basata su solutori stocastici sviluppata nell'ambito di questa ricerca è risultata particolarmente efficace, sia in scenari semplificati, sia in quelli più realistici [39]. La grande versatilità di questo approccio ha inoltre permesso di affrontare con successo il problema dell'**ottimizzazione integrata** della traiettoria di salita e del design preliminare di uno stadio a solido di un lanciatore multistadio [13], un problema multidisciplinare con immediate ricadute pratiche in fase di progettazione preliminare di un nuovo lanciatore.

A partire dal 2019, è stata condotta una attività di ricerca congiunta con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), volta alla definizione ed allo sviluppo di un diverso e più moderno approccio basato su tecniche di **ottimizzazione convessa**. Questa metodologia si caratterizza per una elevata rapidità di convergenza, resa possibile dalla attuale disponibilità di algoritmi per la soluzione di problemi di ottimizzazione convessa particolarmente performanti. Poiché l'ottimizzazione della salita di un lanciatore è un problema per sua natura non convesso, la ricerca si è focalizzata sulla definizione di una strategia di "convessificazione". In particolare, sfruttando tecniche di trasformazione delle variabili di stato e controllo, opportuni rilassamenti dei vincoli e la linearizzazione delle rimanenti non-convessità, si può definire una sequenza di problemi convessi tale da convergere alla stessa soluzione del problema originale. L'approccio sviluppato è stato applicato con successo sia al caso semplificato di un lanciatore bi-stadio [14, 28], sia al caso di un lanciatore tipo VEGA, tenendo conto, in questo caso, anche della presenza di vincoli sul flusso termico e sul punto di caduta degli stadi esausti, la cui interazione è stata oggetto di uno studio specifico [35]. Risultati preliminari presentati in un recente articolo di conferenza mostrano inoltre come questa tecnica possa essere utilizzata all'interno di uno schema di controllo predittivo non lineare in modo da ottenere una guida computazionale per gli stadi superiori di un lanciatore robusta rispetto alla presenza di condizioni operative incerte e disturbi random [40].

Dinamica d'assetto & Controllo	<p>Parallelamente alle attività legate all'ottimizzazione di traiettorie è stato avviato un importante filone di ricerca incentrato sullo studio della dinamica d'assetto di satelliti, e, più precisamente, sull'analisi ed il <b>controllo di sistemi dinamici sotto-attuati</b>. Satelliti di piccole dimensioni, in cui l'hardware di bordo non può essere ridondato per motivi di peso, possono facilmente portarsi in questa condizione, che, in molti casi, determina una fine prematura della vita operativa del sistema. La ricerca condotta ha permesso di individuare delle innovative <b>leggi di controllo non lineari</b> in grado di mantenere operativo il satellite anche nel periodo di sotto-attuazione. Più precisamente, si sono studiati il caso del <b>detumbling</b> di un satellite dotato di un solo attuatore magnetico [5] e il problema del <b>puntamento a singolo asse</b> di un satellite con solo due ruote di reazione funzionanti [6, 21, 24, 25]. Negli articoli viene discussa e provata analiticamente la stabilità globale dei controllori ideati, confermando i risultati ottenuti in simulazione.</p> <p>Accanto all'attività di carattere scientifico, è stata svolta nell'ambito di una collaborazione tra i gruppi di ricerca di meccanica del volo delle università di Roma-Sapienza, di Bologna e del Salento una attività più prettamente ingegneristica sui temi della <b>progettazione e sviluppo</b> del sistema di determinazione e controllo di assetto per un <b>nano-satellite</b> con funzioni di sorveglianza. La realizzazione di un sistema di peso contenuto, ma ad altissime prestazioni, porta alla definizione di una architettura di controllo complessa, cui fa seguito lo sviluppo di un accurato modello di simulazione del comportamento dinamico del satellite e del relativo hardware di bordo. Il corretto funzionamento del sistema di controllo è successivamente verificato mediante una estensiva campagna di <b>simulazioni real-time Hardware-in-The-Loop</b>, condotta utilizzando il sistema di prototipazione rapida dSpace.</p>
Controllo di lanciatori in volo atmosferico	<p>Le competenze e gli strumenti di analisi sviluppati in relazione agli studi sulla dinamica d'assetto di satelliti sono risultati fondamentali per l'attività di modellizzazione, simulazione e controllo di un lanciatore in volo atmosferico, condotta a partire dal 2018 in stretta collaborazione con l'Agenzia Spaziale Europea. L'attività di ricerca si è focalizzata sullo studio di tecniche di controllo robuste, con l'obiettivo di garantire stabilità ed elevate prestazioni del sistema anche in presenza di forti disturbi o ampie variazioni dei parametri del modello del lanciatore rispetto ai valori nominali. In particolare, è stata investigata con grande attenzione una specifica classe di leggi adattive dette AAC (<b>Adaptive Augmented Control</b>) [31], che puntano ad ottenere elevate prestazioni del sistema di controllo affiancando al controllore tradizionale una legge di adattamento moltiplicativa, così da modificarne il comportamento solo nelle situazioni fuori progetto. Di particolare interesse risulta essere la procedura di tuning ottimale basata su algoritmi stocastici [8] sviluppata nell'ambito di questa ricerca, in grado di massimizzare l'efficacia del sistema AAC. Simulazioni numeriche condotte su un modello matematico del lanciatore rappresentativo degli effetti fisici più rilevanti, quali dinamiche rigide ed elastiche, non linearità del sistema di controllo e ritardo di attuazione, hanno confermato la validità di questo approccio. La stessa metodologia si è mostrata estremamente flessibile ed è stata applicata con successo anche ad altri casi di interesse quali la definizione dei pesi per la sintesi di un controllore H-infinito strutturato, sempre nell'ambito del controllo di un lanciatore in volo atmosferico [10] ma anche in applicazioni radicalmente differenti, quali il tuning ottimale di un sistema di controllo di un UAV ad ala fissa [41]. Ulteriori sviluppi in questa linea di ricerca sono legati all'analisi e alla discussione di architetture adattive più complesse che prevedono anche l'integrazione di filtri adattivi [16].</p>

## ATTIVITÀ DIDATTICA

Corsi di Laurea	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Docenza del corso "Meccanica del volo"</b> SSD ING-IND/03, 3 CFU, 30 ore (A.A. 2019/20 - 2020/21) Laurea Triennale in Ingegneria Aerospaziale <i>Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma</i></li> <li>▪ <b>Docenza del corso "Spaceflight Mechanics"</b> SSD ING-IND/03, 3 CFU, 30 ore (A.A. 2018/19 - 2020/21) Laurea Magistrale in Ingegneria Spaziale e Astronautica <i>Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma</i></li> <li>▪ <b>Docenza del modulo curriculare "Elementi di Simulazione di Sistemi Dinamici"</b> AAF, 1 CFU (A.A. 2015/16 e A.A. 2017/18 - 2019/20) Laurea Magistrale in Ingegneria Spaziale e Astronautica <i>Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma</i></li> <li>▪ <b>Docenza del modulo curriculare "Algoritmi evolutivisti ed applicazioni spaziali"</b> AAF, 1 CFU (A.A. 2014/15 - 2020/21) Laurea Triennale in Ingegneria Aerospaziale, Laurea Magistrale in Ingegneria Spaziale e Astronautica, e Laurea Magistrale in Ingegneria Aeronautica <i>Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma</i></li> </ul>
-----------------	--

- **Supporto alla didattica per la Laurea Magistrale**
  - Corsi di "Meccanica Orbitale", "Dinamica d'Assetto" e "Analisi di Missione"  
Tutoraggio / ricevimento studenti. Didattica frontale, 9 ore/anno (A.A. 2009/10)
  - Corso di "Meccanica del Volo Spaziale"  
Tutoraggio / ricevimento studenti. Didattica frontale, 10 ore/anno. (A.A. 2011/2012 - 2020/21)
- **Supervisione dell'attività di tesi di laurea triennale, laurea magistrale e dottorato**  
Relatore o Correlatore di tesi aventi ad oggetto
  - Analisi preliminare ed ottimizzazione di missioni interplanetarie
  - Ottimizzazione di traiettorie di salita di un lanciatore multistadio
  - Architettura del sistema di controllo e determinazione d'assetto di satelliti
  - Controllo di un lanciatore in volo atmosferico
  - Controllo di assetto di un quadrirotore
- Corsi di Dottorato
  - **Docenza del corso "Optimization Methods in Spaceflight Trajectory Design",**  
3 CFU (A.A. 2019/2020)  
Dottorato in Ingegneria Aeronautica e Spaziale  
*Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma*
- Corsi di Master di secondo livello
  - **Docenza del ciclo di lezioni "Launchers navigation, guidance and control principles",**  
9 ore (A.A. 2017/18 - 2020/21)  
Master II livello in Sistemi Trasporto Spaziale  
*Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, "Sapienza" Università di Roma*
  - **Docenza del ciclo di lezioni "Introduzione alla Meccanica del Volo Atmosferico"**  
15 ore (AA. 2018/19)  
Master II livello in Progettazione, Applicazione, Regolamentazione dei Sistemi a Pilotaggio Remoto  
*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Meccanica, Università degli studi di Roma Tor Vergata*

## ISTRUZIONE E FORMAZIONE

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| da Novembre 2009<br>a Maggio 2013     | <b>Dottorato di Ricerca in Tecnologia Aeronautica e Spaziale</b><br>"Sapienza" Università di Roma<br>Livello QEQ 8 |
| da Settembre 2007<br>a Novembre 2009  | <b>Laurea Specialistica in Ingegneria Spaziale</b><br>"Sapienza" Università di Roma<br>Livello QEQ 7               |
| da Settembre 2004<br>a Settembre 2007 | <b>Laurea Triennale in Ingegneria Aerospaziale</b><br>"Sapienza" Università di Roma<br>Livello QEQ 6               |
- Tesi di Dottorato: "Indirect Optimization of Bang-Bang control problems with applications to formation flying missions"
  - Principali interessi di ricerca:
    - Teoria del controllo ottimo – Metodi di Ottimizzazione Indiretti – Metodi di Ottimizzazione Stocastici (Genetici, PSO, Differential Evolution) con applicazioni ai problemi di Traiettorie di Salita di Lanciatori, Missioni Interplanetarie, Orbit Raising.
  - Laureato con 110 e Lode/110
  - Tesi di Laurea: "Ottimizzazione indiretta di una manovra DV-EGA nel problema ristretto dei tre corpi"
  - Principali materie trattate:  
Meccanica Orbitale – Analisi di Missione – Dinamica d'Assetto – Endoreattori a Propellente Liquido e Solido – Propulsori Astronautici – Gasdinamica – Strutture Spaziali
  - Laureato con 110 e Lode/110
  - Tesi di Laurea: "Problematiche sperimentali in galleria del vento"
  - Principali materie trattate:  
Analisi e metodi numerici – Aerodinamica – Materiali e Tecnologie Aerospaziali – Propulsione Aerospaziale – Costruzioni Aerospaziali – Meccanica Applicata alle Macchine – Meccanica del Volo

## COMPETENZE PERSONALI

Lingua madre	Italiano
Altre lingue	Inglese: C1
Competenze digitali	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eccellente conoscenza del linguaggio di programmazione Fortran (77, 90/95)</li> <li>▪ Ottima conoscenza del linguaggio Matlab/Simulink e StateFlow per la simulazione e lo sviluppo di applicativi real-time.</li> <li>▪ Esperienza nella gestione della piattaforma di prototipazione rapida dSpace per simulazioni real-time Hardware-in-The-Loop</li> <li>▪ Buona conoscenza del linguaggi di programmazione C/C++ e Python</li> <li>▪ Buona conoscenza del linguaggio Latex per produzione di documenti scientifici complessi</li> <li>▪ Conoscenza base di software per disegno industriale (Autocad / Catia)</li> <li>▪ Consolidata conoscenza dei sistemi operativi Windows e della maggior parte dei programmi del pacchetto Microsoft Office</li> <li>▪ Buona conoscenza del sistema operativo Linux (distribuzione Ubuntu) e degli applicativi Openoffice/Libreoffice</li> </ul>
Competenze organizzative e gestionali	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sviluppate capacità di articolare e pianificare in modo autonomo progetti scientifici complessi, maturate nei progetti svolti in ambito universitario</li> </ul>
Competenze comunicative	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Attitudine al lavoro di squadra, sviluppata nei progetti svolti con partner industriali nazionali ed internazionali</li> <li>▪ Capacità di dialogare ed esporre chiaramente argomenti e materie tecnico-scientifiche, maturata attraverso l'attività di supporto alla didattica e docenza universitaria</li> </ul>
Patente di guida	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possessore di patente B</li> </ul>

## ULTERIORI INFORMAZIONI

Responsabilità di progetti scientifici	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Ottimizzazione delle traiettorie/missioni di un veicolo di lancio multi-stadio</b> <i>AGENZIA SPAZIALE ITALIANA (ASI)</i> Sviluppo di metodologia di ottimizzazione convessa per l'ottimizzazione della traiettoria di salita un lanciatore. (2019-2022)</li> <li>▪ <b>Vehicle Flight Mechanics and Trajectory Analyses</b> <i>ESA-ESRIN</i> Supporto alle attività di analisi della traiettoria e studio di leggi di guida per il lanciatore VEGA-C nelle sue possibili configurazioni. (2021)</li> <li>▪ <b>Tecniche di ottimizzazione per missioni cooperative di rimozione attiva di detriti</b> <i>"SAPIENZA" UNIVERSITÀ DI ROMA – PROGETTI DI ATENEIO</i> Sviluppo di metodi di ottimizzazione stocastica per l'analisi preliminare di missioni di rimozione attiva di detriti. (2020)</li> </ul>
Partecipazione a progetti	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Support and Cross-check of VEGA-LEAP and VECEP Solid Propulsion and System Activities, <i>ESA-ESRIN</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ <b>Robust and Adaptive Flight Control Systems in off-nominal conditions</b> Studio di una architettura di controllo robusta per il sistema di controllo di un lanciatore, mediante leggi di controllo adattative. (2018-2019)</li> <li>▫ <b>Vehicle Flight Mechanics and Trajectory Optimization</b> Supporto tecnico indipendente alle attività di analisi della traiettoria del lanciatore VEGA-C nelle sue possibili configurazioni. (2018-2019)</li> <li>▫ <b>Technical Report on VEGA Trajectories</b> Studio di tecniche di ottimizzazione diretta con discretizzazione completa o parziale ed applicazioni al problema di ottimizzazione della traiettoria di un lanciatore multistadio soggetto a vincoli terminali e path constraints. (2017)</li> </ul> </li> </ul>

- **VEGA stages fall down analysis**  
Studio della traiettoria di caduta e relativa area di impatto di frammenti in caso di neutralizzazione del lanciatore nelle prime fasi di volo. (2015)
  - **Analisi dello stato dell'arte dei sistemi di guida e simulazione di un Lanciatore CIRA / MBDA**  
Studio della letteratura per una appropriata modellistica per il design e la verifica numerica mediante simulazione degli algoritmi di guida navigazione e controllo. Analisi di algoritmi di pianificazione della traiettoria a loop chiuso. (2011)
  - **Programma di sviluppo e costruzione di un nano-satellite per telerilevamento elettromagnetico**  
*Progetti Speciali Italiani*  
Sviluppo del sistema di determinazione e controllo di assetto e successiva verifica delle prestazioni mediante simulazioni Software e Hardware-In-The-Loop. (2013-2016)
  - **Optimal deployment of a two-spacecraft formation into a highly elliptic orbit: Symbol-X project**  
*CNES*  
Analisi della traiettoria ottimale per il deployment cooperativo di una coppia di satelliti in orbita HEO e sviluppo di un tool automatico per la soluzione del problema. (2010-2012)
  - **Deorbiting mediante vela solare**  
*AEROSEKUR*  
Sviluppo di modelli di atmosfera per calcolo della resistenza aerodinamica e dei tempi di rientro di satelliti in orbita bassa. (2011)
- Ruoli Accademici
- Membro aggiunto del Collegio dei Docenti del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Aeronautica e Spaziale, "Sapienza" Università di Roma (da Dicembre 2019 ad oggi)
- Riconoscimenti e premi
- Membro del team **1° classificato** alla Global Trajectory Optimal Competition 6 (organizzato dal Jet Propulsion Laboratory, 2012)
  - Membro del team **2° classificato** alla Global Trajectory Optimal Competition 5 (organizzato dall'università di Mosca, 2010)
  - Membro del team **3° classificato** alla Global Trajectory Optimal Competition 8 (organizzato dal Jet Propulsion Laboratory, 2015)
- Organizzazione di Congressi
- Workshop GLOBAL TRAJECTORY OPTIMISATION COMPETITION (GTOC) 7, March 2015 at Sapienza - University of Rome

## PUBBLICAZIONI

 Indicatori bibliometrici  
29/09/2021

- 
- Numero documenti: **30** (Scopus)
  - Numero totale di citazioni: **102** (Scopus)
  - Indice di Hirsch: **7** (Scopus)
  - Indice di Hirsch Normalizzato: **0.7** (calcolato come Indice di Hirsch diviso numero anni intercorsi dalla prima pubblicazione)
  - Numero articoli su rivista indicizzata con Impact Factor: **13** (WoS / Journal Citation Reports)
  - Numero medio di citazioni per pubblicazione: **3.4** (Scopus: 102 citazioni / 30 documenti)
  - Impact Factor totale: **22.309** (calcolato come somma degli Impact Factor delle riviste in relazione all'anno di pubblicazione dell'articolo. Banca dati di riferimento WoS / Journal Citation Reports)
  - Impact Factor medio per pubblicazione: **1.716** (Calcolato come Impact Factor totale diviso numero articoli su rivista. Banca dati di riferimento WoS / Journal Citation Reports)

Scopus: 30 documenti (14 articoli), H-index 7, 102 citazioni; Web of Science: 16 documenti (13 articoli), H-index 4, 47 citazioni; Google Scholar: 46 Documenti (14 articoli), H-index 8, 198 citazioni

Elenco completo  
delle pubblicazioni

**Tesi di Dottorato**

- [1] "Indirect Optimization of Bang-Bang control problems with applications to formation flying missions", May 2013, "Sapienza" Università di Roma, <http://padis.uniroma1.it/handle/10805/2053>

**Articoli su rivista:**

- [2] Simeoni, F., Casalino, L., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "Indirect Optimization of Satellite Deployment into a Highly Elliptic Orbit", *International Journal of Aerospace Engineering*, 2012, vol. 2012, pp. 1-14, doi:10.1155/2012/152683
- [3] Colasurdo, G., Zavoli, A., Longo, A., Casalino, L., and Simeoni, F., "Tour of Jupiter Galilean moons: Winning solution of GTOC6", *Acta Astronautica*, 2014, vol. 102, September–October 2014, p. 190-199, ISSN 0094-5765, <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.06.003>
- [4] Zavoli A., Colasurdo G., "Indirect Optimization of Finite-Thrust Cooperative Rendezvous", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2014, vol. 38 (2), pp. 304-314, doi:10.2514/1.G000531
- [5] Zavoli, A., Giulietti, F., Avanzini, G., and De Matteis, G., "Spacecraft dynamics under the action of Y-dot magnetic control law", *Acta Astronautica*, 2016, vol. 122, May–June 2016, p. 146-158, ISSN 0094-5765, <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.01.024>.
- [6] Zavoli A., De Matteis, G., Giulietti, F., and Avanzini, G., "Single-Axis Pointing of an Underactuated Spacecraft Equipped with Two Reaction Wheels", *Journal of Guidance Control and Dynamics*, 2017, vol. 40 (6), p. 1465-1471, ISSN: 0731-5090, doi:10.2514/1.G002182
- [7] Federici, L., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "Preliminary Capture Trajectory Design for Europa Tomography Probe", *International Journal of Aerospace Engineering*, 2018, vol. 2018, Article ID 6890173, p. 1-12. <https://doi.org/10.1155/2018/6890173>.
- [8] Trotta, D., Zavoli, A., De Matteis, G., and Neri, A., "Optimal Tuning of Adaptive Augmenting Controller for Launch Vehicles in Atmospheric Flight", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2020, vol. 43 (11), p. 2133–2140. <https://doi.org/10.2514/1.g005352>
- [9] Notaro, V., Di Benedetto, M., Colasurdo, G., Durante, D., Gaudenzi, P., Imperi, L., Mariani, M. J., Marotta, A., Palermo, G., Pollice, L., Racioppa, P., Zavoli, A., Less, L., "A small spacecraft to probe the interior of the jovian moon Europa: Europa Tomography Probe (ETP) system design", *Acta Astronautica*, 2020, vol. 166, p. 137-146. doi:10.1016/j.actaastro.2019.10.017
- [10] Belletti Araque, J. P., Zavoli, A., Trotta, D., and De Matteis, G., "Genetic Algorithm Based Parameter Tuning for Robust Control of Launch Vehicle in Atmospheric Flight", *IEEE Access*, 2021, vol. 9, p. 108175-108189. doi:10.1109/ACCESS.2021.3099006
- [11] Federici, L., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "On the use of A\* search for active debris removal mission planning", *Journal of Space Safety Engineering*, 2021, vol. 8 (3), p. 245-255, doi:10.1016/j.jsse.2021.07.003
- [12] Zavoli, A., and Federici, L., "Reinforcement Learning for Robust Trajectory Design of Interplanetary Missions", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2021, vol 44 (8), p. 1440-1453. doi:10.2514/1.G005794
- [13] Federici, L., Zavoli, A., Colasurdo, G., Mancini, L., and Neri, A., "Integrated Optimization of First-Stage SRM and Ascent Trajectory of Multistage Launch Vehicles", *Journal of Spacecraft and Rockets*, 2021, vol. 58 (3), pp. 786–797. doi:10.2514/1.A34930
- [14] Benedikter, B., Zavoli, A., Colasurdo, G., Pizzurro, S., and Cavallini, E., "Convex Approach to Three-Dimensional Launch Vehicle Ascent Trajectory Optimization", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2021, vol. 44 (6), p. 1116-1131, ISSN: 0731-5090. doi:10.2514/1.G005376
- [15] Federici L., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "Evolutionary Optimization of Multirendezvous Impulsive Trajectories", *International Journal of Aerospace Engineering*, 2021, vol. 2021, p. 1-19, ISSN: 1687-5966. doi:10.1155/2021/9921555
- [16] Trotta, D., Zavoli, A., De Matteis, G., and Neri, A., "Tracking Filter Integration in the Adaptive Augmenting Controller of a Launch Vehicle", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2021, Articles in Advance, Published Online on 13 Aug 2021, p. 1-10. <https://doi.org/10.2514/1.G006007>
- [17] Federici, L., Benedikter, B., and Zavoli, A., "Deep Learning Techniques for Autonomous Spacecraft Guidance During Proximity Operations", *Journal of Spacecraft and Rockets*, Articles in Advance, Published Online on 2 Aug 2021, p. 1-12. <https://doi.org/10.2514/1.A35076>

**Atti di Conferenza:**

- [18] Zavoli, A., Colasurdo, G., Simeoni, F., and Casalino, L., "Optimal cooperative deployment of a two-satellite formation into a highly elliptic orbit," in 2011 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Girdwood, Alaska, July 31-August 4, 2011, p. 1-17.
- [19] Simeoni, F., Casalino, L., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "Deployment of a Two-Spacecraft Formation into a Highly Elliptic Orbit with Collision Avoidance," in 2012 AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference, Minneapolis, Minnesota, 13-16 August 2012. p. 1-12.
- [20] Casalino, L., Pastrone, D., Simeoni, F., Colasurdo, G., and Zavoli, A., "GTOC5: Results from the Politecnico di Torino and Università di Roma Sapienza," *Acta Futura*, 2014, vol. 8, p. 29-36, 2014. doi:10.2420/AF08.2014.29
- [21] Zavoli, A., Giulietti, F., Avanzini, G., and De Matteis, G., "Single-Axis Pointing by means of two reaction wheels", 25th International Symposium on Space Flight Dynamics ISSFD, at Munich, Germany, October 19-23, 2015.
- [22] Casalino, L., Colasurdo, G., Zavoli, A., and Berga, M., "GTOC8: Results and Methods of Team 22", 26th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Napa, CA., February 14-18, 2016, p. 4291-4300.
- [23] Notaro, V., Di Benedetto, M., Palermo, G., Iess, L., Mariani, M. J., Zavoli, A., Imperi, L., Durante, D., Racioppa, P., Pollice, L., "Europa Tomography Probe (ETP) mission feasibility - spacecraft design", 67th International Astronautical Congress (IAC), Guadalajara, Mexico, September 26-30, 2016.
- [24] Zavoli, A., Giulietti, F., Avanzini, G., and De Matteis, G., "Single axis pointing for underactuated spacecraft with a residual angular momentum", 26th International Symposium on Space Flight Dynamics ISSFD, Matsuyama, Japan, June 5-9, 2017.
- [25] Avanzini, G., De Matteis, G., Giulietti, F., and Zavoli, A., "Minimum-error single-axis pointing for an underactuated spacecraft in the presence of a residual angular momentum", 69th International Astronautical Congress (IAC), October 1-5, 2018.
- [26] Federici, L., Zavoli, A., Colasurdo, G., Mancini, L., and Neri, A., "Integrated Optimization of Ascent Trajectory and SRM Design of Multistage Launch Vehicles", 29th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Maui (Hawaii), January 13-17, 2019.
- [27] Federici, L., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "Impulsive Multi-Rendezvous Trajectory Design an Optimization," 8th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS), Madrid, Spain, July 1-4, 2019.
- [28] Benedikter, B., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "A Convex Approach to Rocket Ascent Trajectory Optimization," 8th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS), Madrid, Spain, July 1-4, 2019.
- [29] Zavoli, A., Federici, L., Benedikter, B., and Colasurdo, G., "Comparative Analysis of Genetic Crossover Operators for the Optimization of Impulsive Multi-Rendezvous Trajectories," AIDAA 2019 - XXV International Congress, Rome, Italy, September 9-12, 2019.
- [30] Benedikter, B., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "A Convex Optimization Approach for Finite-Thrust Time-Constrained Cooperative Rendezvous," 2019 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Portland, Maine, August 11-15, 2019.
- [31] Trotta, D., Zavoli, A., De Matteis, G., and Neri, A., "Opportunities and Limitations of Adaptive Augmented Control for Launch Vehicle Attitude Control in Atmospheric Flight," 2019 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Portland, Maine, August 11-15, 2019.
- [32] Federici, L., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "A Time-Dependent TSP Formulation for the Design of an Active Debris Removal Mission using Simulated Annealing", 2019 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Portland, Maine, August 11-15, 2019.
- [33] Zavoli, A., Federici, L., Benedikter, B., Casalino, L., and Colasurdo, G., "GTOC X: Solution Approach of Team Sapienza-PoliTo," 2019 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Portland, Maine, August 11-15, 2019.
- [34] Federici, L., Zavoli, A., and Colasurdo, G., "On the use of A\* Search for Active Debris Removal Mission Planning," 71st International Astronautical Congress (IAC) - The Cyber Space Edition, October 12-14, 2020.
- [35] Benedikter, B., Zavoli, A., Colasurdo, G., Pizzurro, S., and Cavallini, E., "Convex Optimization of Launch Vehicle Ascent Trajectory with Heat-Flux and Splash-Down Constraints," AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Virtual Lake Tahoe, August 9-13, 2020.
- [36] Zavoli, A., and Federici, L., "Reinforcement Learning for Low-Thrust Trajectory Design of Interplanetary Missions," AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Virtual Lake Tahoe, August 9-13, 2020.
- [37] Di Benedetto, M., Cappuccio, P., Molli, S., Federici, L., and Zavoli, A., "Analysis of 3GM Callisto Gravity Experiment of the JUICE Mission," AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Virtual Lake Tahoe, August 9-13, 2020.
- [38] Trotta, D., Zavoli, A., De Matteis, G., and Neri, A., "Adaptive Attitude Control of Launch Vehicles in Atmospheric Flight," AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Virtual Lake Tahoe, August 9-13, 2020.



- [39] Federici, L., Benedikter, B., and Zavoli, A., "EOS: a parallel, self-adaptive, multi-population evolutionary algorithm for constrained global optimization," 2020 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Virtual, July 14-24, 2020, pp. 1-10. doi:10.1109/CEC48606.2020.9185800.
- [40] Benedikter, B., Zavoli, A., Colasurdo, G., Pizzurro, S., and Cavallini, E., "Autonomous Upper Stage Guidance Using Convex Optimization and Model Predictive Control," AIAA ASCEND, 2020, Virtual, November 16-18, 2020. doi:10.2514/6.2020-4268.
- [41] D'Antuono, V., De Matteis, G., Trotta, D., and Zavoli, A., "Optimal tuning for robust control of a small fixed-wing UAV", AIAA Scitech 2021 Forum, Virtual, January 11-15, 2021, p. 1-17. doi:10.2514/6.2021-1057
- [42] Federici, L., Benedikter, B., and Zavoli, A., "Machine Learning Techniques for Autonomous Spacecraft Guidance during Proximity Operations," AIAA SciTech 2021 Forum, Virtual, January 11-15, 2021, p. 1-18. doi:10.2514/6.2021-0668.
- [43] Belletti Araque, J. P., Zavoli, A., Trotta, D., and De Matteis, G., "Advanced H-infinity Synthesis for Launch Vehicle Attitude Control in Atmospheric Flight," AIAA SciTech 2021 Forum, Virtual, January 11-15, 2021, pp. 1-19. doi:10.2514/6.2021-1217.
- [44] Zavoli, A., Zolla, P. M., Federici, L., Migliorino, M. T., and Bianchi, D., "Machine Learning Techniques for Flight Performance Prediction of Hybrid Rocket Engines", in AIAA Propulsion and Energy 2021 Forum, 9-11 August 2021, Virtual Event. doi:10.2514/6.2021-3506
- [45] Federici, L., Scorsoglio, A., Zavoli, A., and Furfaro, R., "Autonomous Guidance for Cislunar Orbit Transfers via Reinforcement Learning", 2021 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Big Sky, Virtual, August 9-11, 2021.
- [46] Marmo, N., Zavoli, A., Dei Tos, D. A., Ikeda, H., and Kawakatsu, Y., "Design of robust maneuvers for the MMX mission: a chance-constraint optimization perspective", 2021 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Big Sky, Virtual, August 9-11, 2021.
- [47] Zona, D., Federici, L., and Zavoli, A., "Preliminary Design of Multi-Chaser Active Debris Removal Missions with Evolutionary Algorithms", 2021 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Big Sky, Virtual, August 9-11, 2021.

---

Dati personali    Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del Decreto Legislativo 30 giugno 2003, n. 196 "Codice in materia di protezione dei dati personali".

Luogo e data

ROMA 29/09/2021

In fede

