



L'anno duemilaquindici, addì **9 giugno** alle ore 15.30, a seguito di regolare convocazione trasmessa con nota prot. n. 0038670 del 4 giugno 2015, nell'Aula Organi Collegiali si é riunito il Senato Accademico per l'esame e la discussione degli argomenti iscritti al seguente ordine del giorno.

.....**o m i s s i s**

Sono presenti: il Rettore, prof. Eugenio Gaudio ed i componenti del Senato Accademico: prof. Masiani, Pro-Rettore Vicario, prof. Stefano Biagioni, prof.ssa Maria Rosaria Torrisi, prof.ssa Emma Baumgartner, prof. Davide Antonio Ragozzino (entra alle ore 16.00), prof.ssa Alessandra Zicari, prof. Giorgio Graziani, prof. Stefano Catucci, prof.ssa Rita Asquini, prof.ssa Stefania Portoghesi Tuzi, prof.ssa Beatrice Alfonzetti, prof.ssa Matilde Mastrangelo, prof. Alessandro Saggiaro, prof. Giorgio Piras, prof. Emanuele Caglioti, prof.ssa Maria Grazia Betti, prof. Felice Cerreto, prof. Giorgio D Toma (entra alle ore 16.08), prof.ssa Susanna Morano, prof. Marco Biffoni, prof. Giuseppe Santoro Passarelli (entra alle ore 16.00), prof. Augusto D'Angelo, prof.ssa Paola Panarese, i Rappresentanti del personale: Tiziana Germani (entra alle ore 16.16), Pietro Maioli, Beniamino Altezza, Carlo D'Addio, Roberto Ligia (entra alle ore 16.08) e i Rappresentanti degli studenti: Diana Armento, Valeria Roscioli (entra alle ore 16.08) e Stefano Capodieci.

Assistono: il Direttore Generale, Carlo Musto D'Amore, che assume le funzioni di Segretario, i Presidi: prof. Giuseppe Ciccarone, prof. Paolo Ridola, prof. Fabrizio Vestroni, prof.ssa AnnaMaria Giovenale, prof. Marco Listanti, prof. Vincenzo Nesi, prof. Roberto Nicolai, prof. Giuseppe Venanzoni, prof. Cristiano Violani, prof. Vincenzo Vullo, il prof. Alessandro Schiesaro, Direttore della Scuola degli Studi Avanzati, i ProRettori: Bruno, Teodoro Valente, Gianni Orlandi, Antonello Folco Biagini e Tiziana Pascucci.

Assenti: i Rappresentanti degli studenti Manuel Santu, Fabiana Cancrini e Pierleone Lucatelli.

Il Presidente, constatata l'esistenza del numero legale, dichiara l'adunanza validamente costituita ed apre la seduta.

.....**o m i s s i s**



Senato
Accademico

Seduta del

- 9 GIU. 2015

Il Responsabile del Settore
Progettazione Formativa

(Prof. Di Sarno)

un

[Handwritten signature]

5.1

[Handwritten signature]

SCUOLA DI INGEGNERIA AEROSPAZIALE OFFERTA FORMATIVA PER L'ANNO ACCADEMICO 2015-2016

Il Presidente ricorda che il TAR LAZIO, con sentenza n. 13135/2014, depositata il 29 dicembre 2014, ha accolto il ricorso presentato da alcuni docenti della Scuola di Ingegneria Aerospaziale ed ha dichiarato la nullità dei DD.RR. nn. 1624, 1625, e 1626 del 1 luglio 2014.

Pertanto, ai sensi della suddetta sentenza, il Senato Accademico, con deliberazione n. 109/15, ha deliberato *"che la scuola riprenda a rilasciare titoli di laurea secondo quanto previsto dalla legge istitutiva della medesima e dal vecchio Statuto della SIA, artt. 1 e 2"*.

Successivamente, l'Area Offerta Formativa e Diritto allo Studio ha sottoposto al Senato Accademico, nella seduta del 12 maggio 2015, l'Offerta Formativa della Scuola di Ingegneria Aerospaziale per l'anno accademico 2015-2016.

In proposito, il Presidente fa presente che, su propria richiesta, la relazione è stata ritirata, con la seguente motivazione: *"Il Presidente, dopo ampio dibattito, avuto riguardo della sentenza TAR Lazio n. 13135/2014 di cui alla delibera del Senato Accademico n. 109/15, ritiene necessario, da parte dell'Area Offerta formativa e della Commissione Didattica, un ulteriore approfondimento sulla coerenza tecnico-giuridica del Manifesto del Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale, afferente alla Scuola di Ingegneria Aerospaziale, con la predetta sentenza."*

Pertanto, tutta la documentazione relativa all'offerta formativa della Scuola di Ingegneria Aerospaziale, pervenuta all'Area Offerta Formativa e Diritto allo Studio, è stata inviata, per la necessaria valutazione della coerenza tecnico-giuridica del Manifesto del corso di studio in argomento, alla prof.ssa Marella Maroder, Presidente della Commissione Didattica di Ateneo, e al prof. Francesco Maria Sanna, Presidente uscente, delegati dal Rettore a svolgere, nelle more del rinnovo della Commissione Didattica di Ateneo, le attività, di competenza della stessa.

Il Presidente comunica che, a seguito di un approfondito esame, sentita in proposito l'Area Offerta Formativa e Diritto allo Studio, la prof.ssa Maroder e il prof. Sanna hanno formulato, in collaborazione con l'Area stessa, le seguenti osservazioni:



- 9 GIU. 2015

Il Responsabile del Settore
Progettazione Formativa

(Franco Di Sano)

uw

"DENOMINAZIONE DEL CORSO DI LAUREA

- *Visto che la sentenza del Consiglio di Stato rimanda al previgente Statuto, è preferibile parlare di "Corso di laurea a Statuto speciale" e non di "Corso di laurea ad ordinamento speciale";*

OBIETTIVI FORMATIVI SPECIFICI DEL CORSO E DESCRIZIONE DEL PERCORSO FORMATIVO:

- *Gli obiettivi formativi specifici, in particolare per quanto concerne la descrizione del percorso formativo relativa a corsi brevi, stages o seminari, vanno rivisti alla luce delle modifiche richieste di seguito relative al quadro delle attività formative.*
- *Il riferimento alla potenziale domanda generata principalmente da quattro aree di interesse (Bandi europei, Programmi internazionali ecc.) può far parte di un altro punto della descrizione del progetto ma non sembra pertinente nell'attuale collocazione.*

IMMATRICOLAZIONI, TRASFERIMENTI, PASSAGGI DI CORSO

- *In considerazione della peculiarità del corso di studio, unico nel panorama nazionale, non è possibile prevedere trasferimenti da o verso altre Università o passaggi da o verso altri corsi dell'Ateneo.*

Il titolo del punto deve essere, quindi, modificato con "Immatricolazioni".

PASSAGGIO AL SECONDO ANNO

- *Il numero di CFU conseguiti nel primo anno per potersi iscrivere al II va alzato almeno a 18;*
- *La frase "Lo studente che non abbia conseguito i crediti minimi previsti entro i termini riconosciuti per la validità dell'anno accademico è considerato fuori corso" è inesatta e va cancellata.*

STUDENTI A TEMPO PARZIALE

- *E' da valutare la possibilità di prevedere la figura di studente a tempo parziale che non esisteva negli ordinamenti ante D.M. 509/99.*

SBOCCHI OCCUPAZIONALI

- *Il punto va riformulato. L'attuale formulazione elenca infatti prevalentemente tipologie di attività che il laureato potrà svolgere e non figure professionali.*
- *La frase finale: "Il laureato speciale ... di questo ambito culturale" va cassata.*



- 9 GIU. 2015

Il Responsabile del Settore
Progettazione Formativa
(Prof. Ing. Di Sarno)

Ww

MANIFESTO DEGLI STUDI 2015/16

Tabella degli insegnamenti

- La tabella degli insegnamenti di cui si prevede l'attivazione va riformulata relativamente al numero di CFU attribuiti, alla luce delle modifiche richieste al quadro delle attività formative (cfr. nel seguito).

Esami di profitto

- La frase "La Commissione d'Esame è composta da docenti o esperti di comprovata esperienza, di cui uno è, di norma, il titolare dell'insegnamento" va sostituita con "La Commissione d'Esame è composta da docenti o esperti di comprovata esperienza ed è presieduta dal docente responsabile dell'insegnamento".
- La frase successiva ("La laurea prevede undici insegnamenti ... della Ingegneria Aerospaziale") va riformulata alla luce delle modifiche al quadro delle attività formative (cfr. nel seguito).
- Il punto riferito ai piani di studio va riformulato alla luce delle modifiche al quadro delle attività formative (cfr. nel seguito).
- L'elenco degli insegnamenti che si intendono attivare nell'a.a. 2015/16 con la suddivisione nei due gruppi ("A" e "B") è inutile e ridondante (cfr. quadro delle attività formative) e va eliminato.

Ulteriori attività formative

- Il punto va eliminato alla luce delle modifiche al quadro delle attività formative (cfr. nel seguito).

Prova finale

- Visto che il corso è interamente erogato in lingua inglese, la prova finale "deve" (e non "può") essere redatta in lingua inglese.
- Il numero dei crediti attribuiti alla laurea deve essere ridotto a 24 alla luce delle modifiche al quadro delle attività formative (cfr. nel seguito).
- La numerosità dei componenti della Commissione di laurea deve essere "almeno" 7;

QUADRO DELLE ATTIVITÀ FORMATIVE

- Il quadro degli insegnamenti negli anni e semestri – che è in realtà il vero Manifesto degli Studi – va riformulato, alla luce in primis del fatto che lo Statuto previgente faceva riferimento a 12 annualità, ed è di tutta evidenza che un esame da 6 CFU (sia pure con una equivalenza CFU/ore pari a 9, e quindi più elevata di quella standard di Ateneo) non può essere equiparato ad una annualità del vecchio ordinamento.
- Trattandosi di un corso a Statuto speciale, appare inopportuna l'indicazione di tipologie di attività formative tratte dal D.M. 270/04.



- 9 GIU. 2015

Il Responsabile del Settore
Progettazione Formativa

(Franco Di Sano)

uw

- Pur non entrando, ovviamente, nel merito delle singole scelte che i docenti del Corso decideranno di compiere, si suggerisce uno schema di questo tipo:

I anno: 2 insegnamenti obbligatori da 12 CFU ciascuno (eventualmente proponibili come moduli integrati)
3 insegnamenti da 9 CFU, 2 dei quali obbligatori e 1 a scelta in una rosa non troppo ampia (max 4 insegnamenti)
1 insegnamento da 6 CFU, a scelta in una rosa non troppo ampia (max 4 insegnamenti)

II anno: 1 insegnamento obbligatorio da 12 CFU (eventualmente proponibile come modulo integrato)
3 insegnamenti da 9 CFU, 1 dei quali obbligatorio, 1 a scelta in una rosa non troppo ampia (max 4 insegnamenti) e 1 a scelta in una rosa più ampia.
24 CFU per la tesi.

- Gli insegnamenti obbligatori devono essere definiti e chiaramente indicati nel quadro delle attività formative.
- Le attività relative a corsi brevi, stages o seminari, così come le attività di laboratorio, richiamate negli obiettivi formativi specifici e nella descrizione del percorso formativo, potranno trovare spazio all'interno dei vari insegnamenti, obbligatori o a scelta, soprattutto di quelli cui verrà riservato il numero più alto di CFU.
- Riguardo ai laureati in possesso di titolo che consente l'abbreviazione del corso ad un solo anno, la soluzione più semplice appare la loro iscrizione diretta al II anno; di questo fatto occorrerà tenere conto nel definire la collocazione degli insegnamenti al I o al II anno.

TABELLA PER LA COMPARAZIONE TRA INSEGNAMENTI

Riguardo a questa tabella si osserva che, coerentemente con quanto avveniva in vigore del vecchio Statuto, essa non rappresenta la traduzione esaustiva dell'elenco di cui al previgente Statuto, ma ne rappresenta un sottoinsieme, individuato dai docenti del Corso come quello preferibile. Ciò è assolutamente corretto ed in linea con quanto previsto dall'art. 3 del previgente Statuto, ma andrebbe esplicitato nel documento."

In proposito, il Presidente fa presente che le suddette osservazioni, dopo la valutazione delle stesse da parte di questo Consesso, saranno inviate alla Scuola di Ingegneria Aerospaziale, per la necessaria approvazione del



Senato
Accademico

Seccata del

- 9 GIU. 2015

Il Responsabile del Settore
Progettazione Formativa
(Fragua Di Sano)

Manifesto del corso di laurea a Statuto speciale in Ingegneria Aerospaziale, riformulato ai sensi delle prescrizioni in argomento.

Il Presidente informa, infine, che il Settore Progettazione Formativa dell'Area Offerta Formativa e Diritto allo Studio potrà inserire la Scuola di Ingegneria Aerospaziale, con il titolo da essa rilasciato, nell'art. 2 del Manifesto generale degli studi per l'anno accademico 2015-2016, solo dopo che la Scuola avrà approvato il Manifesto del corso di laurea a Statuto speciale in Ingegneria Aerospaziale, correttamente riformulato.

Tutto ciò premesso, il Presidente invita il Senato Accademico a deliberare.

Allegati quale parte integrante:

- 1) *Manifesto del corso di laurea in Ingegneria Aerospaziale V.O., trasmesso dal Preside;*
- 2) *Tabella di comparazione tra gli insegnamenti, trasmessa dal Preside.*



9 GIU. 2015

DELIBERAZIONE N. 292/15

IL SENATO ACCADEMICO

- VISTA** la legge 3 febbraio 1963, n. 102;
- VISTO** il D.M. 22 maggio 1995 - Modificazioni all'ordinamento didattico universitario relativamente ai corsi di laurea afferenti alla Facoltà di Ingegneria - con il quale la laurea in Ingegneria aeronautica muta denominazione in Ingegneria aerospaziale;
- VISTO** il D.R. 31 ottobre 1996, con il quale sono state apportate modifiche allo Statuto della Sapienza;
- VISTO** lo Statuto della Sapienza;
- VISTA** la sentenza del TAR n. 13135/2014, depositata il 29 dicembre 2014;
- VISTA** la deliberazione del Senato Accademico n. 109/15;
- VISTO** il Manifesto trasmesso all'AROF dal Preside della Scuola di Ingegneria Aerospaziale, unitamente alla Tabella di comparazione tra gli insegnamenti;
- CONSIDERATO** che nella seduta del Senato Accademico del 12 maggio 2015, il Presidente ha ritenuto necessario ritirare la relazione sottoposta dall'AROF per un ulteriore approfondimento, da parte dell'Area stessa e della Commissione Didattica;
- VISTE** le osservazioni formulate dai delegati dal Rettore in collaborazione con l'AROF;

Con voto unanime

DELIBERA

1. di approvare le osservazioni formulate dalla prof.ssa Marella Maroder e dal prof. Francesco Maria Sanna, in collaborazione con l'Area Offerta Formativa e Diritto allo Studio;
2. di invitare la Scuola di Ingegneria Aerospaziale ad approvare il Manifesto del corso di laurea a Statuto speciale in Ingegneria Aerospaziale, riformulato ai sensi delle osservazioni di cui sopra;
3. di dare mandato per la verifica del corretto recepimento delle osservazioni di cui al punto 1, all'Area Offerta Formativa e Diritto allo Studio in collaborazione con la prof.ssa Marella Maroder e il prof. Francesco Maria Sanna, delegati dal Rettore a svolgere, nelle more

61



Senato
Accademico

seduta de

- 9 OTT. 2015

del rinnovo della Commissione Didattica di Ateneo, le attività, di competenza della stessa;

- 4. che, dopo l'acquisizione del parere favorevole, espresso a seguito della verifica di cui al punto 3, da parte dell'Area Offerta Formativa e Diritto allo Studio in collaborazione con la prof.ssa Marella Maroder e il prof. Francesco Maria Sanna, la Scuola di Ingegneria Aerospaziale, con il titolo da essa rilasciato, sia inserita nell'art. 2 del Manifesto generale degli studi per l'anno accademico 2015-2016.**

Letto e approvato seduta stante per la sola parte dispositiva.

IL SEGRETARIO
Carlo Musto D'Amore

IL PRESIDENTE
Eugenio Gaudio

SCUOLA DI INGEGNERIA AEROSPAZIALE DI ROMA

CORSO DI LAUREA AD ORDINAMENTO SPECIALE IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE

OBIETTIVI FORMATIVI SPECIFICI DEL CORSO E DESCRIZIONE DEL PERCORSO FORMATIVO

Il Corso di Laurea ad Ordinamento Speciale in Ingegneria Aerospaziale è dedicato a studenti che abbiano già conseguito una laurea magistrale in Ingegneria oppure una laurea in Ingegneria del vecchio ordinamento. L'obiettivo del Corso è quello di creare esperti in grado di inserirsi nei settori dello sviluppo industriale e della ricerca avanzata. Una attenzione particolare è posta nel trasferire agli studenti una capacità sistemistica nel campo della Ingegneria Aerospaziale.

La possibilità di avere una visione di sistema e complessiva di una missione spaziale non è comune a livello industriale perché la complessità di ciascun sottosistema della missione obbliga gli ingegneri a specializzarsi in singole funzioni. L'architettura generale resta delegata al "sistemista", un ingegnere di grande esperienza che, avendo maturato capacità in diversi sottosistemi, è in grado di avere una comprensione generale del progetto. Questa figura è sempre più rara, anche per le discontinuità che si verificano nel corso del tempo nello sviluppo dei grandi progetti spaziali. A causa dello spinto sviluppo tecnologico anche i corsi di laurea magistrale del settore consentono al più di acquisire una conoscenza di base in uno dei domini dell'ingegneria aerospaziale. Viceversa la complessità degli attuali programmi richiede figure professionali capaci di comprendere aspetti tecnici assai diversificati.

La formazione offerta dalla Laurea Speciale risulta quindi particolarmente preziosa per il settore industriale poiché prepara giovani ingegneri sistemisti.

Il percorso formativo tende inoltre a guidare gli studenti verso progetti in aree di eccellenza della Scuola di Ingegneria Aerospaziale. Ciò consente agli studenti di avvicinarsi concretamente alle attività di ricerca e sviluppo tecnologico che i docenti della Scuola svolgono, attraverso una didattica che coniuga i concetti teorici con le attività di laboratorio (nell'alveo della tradizione della Scuola). Per questo motivo i corsi prevedono generalmente attività di laboratorio. Sono fortemente attivi presso la Scuola diversi laboratori, tra i quali: il Laboratorio di Guida e Navigazione, il Laboratorio di Meccanica del Volo, il Laboratorio di Tecnologie per l'Aerospazio, il Laboratorio di Sistemi di Potenza, il Laboratorio di Elettronica per lo spazio, il Laboratorio di Nanotecnologie, il Laboratorio di Automazione, Robotica e Controllo per l'Aerospazio, il Laboratorio di Termoacustica, il Laboratorio di Telemetria oltre ad una Stazione di Terra per l'inseguimento dei satelliti, un Simulatore Spaziale (termovuoto, campo magnetico, simulatore solare) e una Camera Pulita per l'assemblaggio di microsatelliti.

Compatibilmente con le risorse finanziarie disponibili, possono essere offerti agli studenti progetti didattici che prevedono la progettazione e realizzazione di piccoli sistemi satellitari. Questi progetti, afferenti a più corsi, consentono agli studenti l'ottenimento di altri crediti formativi.

La quota di tali crediti addizionali è volutamente significativa tanto per consentire agli studenti interessati di partecipare ai progetti proposti, quanto per inserire nell'ambito della attività didattica contributi di rilievo da parte di esperti provenienti dal settore industriale, dalle agenzie spaziali e dalla Difesa attraverso corsi brevi, stages o seminari.

Infine, per l'importante coesistenza di un ordinamento particolare e un corpo docente/amministrativo ristretto che assicura rapidità decisionale, flessibilità e versatilità, la didattica del Corso può orientarsi decisamente verso la soddisfazione della potenziale domanda generata da quattro aree di interesse: 1) i Bandi Europei per percorsi internazionali coordinati di istruzione superiore: la flessibilità dell'offerta, che deve costruttivamente unire le competenze dei partner, è fondamentale per elaborare delle proposte di successo, 2) i Programmi internazionali (bilaterali) nei quali la Scuola ha già esperienza con iniziative di sviluppo, assistenza e (ri)costruzione delle competenze supportate dal Ministero degli Affari Esteri, 3) la Formazione per l'Industria, ovvero una formazione specialistica dedicata e adattabile alle esigenze, con il vantaggio – rispetto a brevi corsi o master – di essere «organica» e «certificata», 4) la Formazione dedicata alla Difesa, nel seguito di una tradizione che vede la Scuola - per statuto – rivolgere una particolare attenzione alla preparazione specialistica degli ufficiali delle Forze Armate [il sito stesso della scuola è concesso dall'Aeronautica Militare].

La laurea in Ingegneria Aerospaziale ha durata biennale per tutti gli studenti, ad eccezione di coloro i quali sono in possesso di un diploma di laurea V.O. in Ingegneria Aeronautica o Ingegneria Aerospaziale, oppure una laurea magistrale in classe LM-20 Ingegneria aerospaziale e astronautica o ad essa equiparata, per i quali ha durata annuale. Tutti i corsi sono in lingua inglese, al fine di condividere la dimensione sovranazionale di un sapere e di una tecnologia

avanzati come quelli aerospaziali, permettere una utile frequenza da parte degli allievi stranieri e contribuire efficacemente all'azione di internazionalizzazione portata avanti dall'Università di Roma *La Sapienza*.

Il percorso formativo è dettagliato come segue.

IMMATRICOLAZIONI, TRASFERIMENTI, PASSAGGI DI CORSO

Per immatricolarsi alla Laurea Speciale in Ingegneria Aerospaziale occorre essere in possesso di uno dei seguenti titoli:

- Laurea Magistrale in Ingegneria conseguita presso università italiana, o presso università estera;
- Laurea di durata quinquennale V.O. in Ingegneria conseguita presso università italiana o presso università estera;
- Altri titoli riconosciuti equipollenti.

PASSAGGIO AL SECONDO ANNO

Per il passaggio all'anno successivo è necessario che lo studente abbia conseguito un minimo di 12 crediti.

Al di sotto di tale soglia lo studente è considerato ripetente. Lo studente che non abbia conseguito i crediti minimi previsti entro i termini riconosciuti per la validità dell'anno accademico è considerato fuori corso.

STUDENTI A TEMPO PARZIALE

Si dà la possibilità agli studenti che ne facciano richiesta all'atto dell'immatricolazione o durante gli anni successivi di iscrizione, in base alle scadenze e alle modalità stabilite dal Manifesto generale degli studi, di optare per la qualifica di studente a tempo parziale, concordando un percorso formativo con un numero di crediti variabile fra 20 e 40 crediti/anno invece dei 60 crediti/anno previsti normalmente.

Il passaggio al secondo anno è vincolato dal conseguimento di almeno 6 crediti per anno.

SOSTEGNO DIDATTICO

I docenti assicurano agli studenti un'assistenza adeguata, attraverso orari di ricevimento e azioni di tutoraggio, favorite dal previsto elevato rapporto docenti/studenti..

In particolare la Scuola organizza corsi di sostegno e di recupero, nei periodi di interruzione della didattica, per le discipline che si rivelano particolarmente impegnative in sede di accertamento.

SITO WEB

Il sito web del Corso di Laurea Speciale in Ingegneria Aerospaziale contiene informazioni utili per gli studenti in ingresso, per gli studenti iscritti, i laureati, i docenti e la comunità scientifica, le istituzioni e le imprese.

<http://www.uniroma1.it/ateneo/dove-siamo/scuola-di-ingegneria-aerospaziale>.

CARATTERISTICHE DELLA PROVA FINALE

La prova finale consiste nello svolgimento di una tesi sperimentale/progettuale, originale, su argomenti relativi agli insegnamenti del Corso di Laurea Speciale, da svilupparsi sotto la guida di un docente appartenente al Consiglio del Corso di Studi, anche in collaborazione con enti pubblici e privati, aziende manifatturiere e di servizi, centri di ricerca operanti nel settore di interesse. Nel corso della elaborazione della tesi lo studente dovrà, in primo luogo, analizzare la letteratura tecnica relativa all'argomento in studio. Il laureando dovrà poi, in maniera autonoma e, a seconda della tipologia della tesi, proporre soluzioni al problema proposto con una modellizzazione che consenta di analizzare la risposta del sistema in corrispondenza a variazioni nelle variabili caratteristiche del sistema. Nel caso di tesi sperimentale, lo studente dovrà elaborare un piano della sperimentazione che consenta di ottenere i risultati desiderati. Nel caso di tesi progettuale, la prova finale può anche consistere nella realizzazione di un sistema hardware di interesse nel settore aerospaziale.

SBocchi OCCUPAZIONALI

Alcuni **sbocchi occupazionali e professionali** offerti ai titolari di Laurea a Ordinamento Speciale in Ingegneria Aerospaziale riguardano le seguenti attività:

Nel mondo industriale:

- Ingegnere sistemista per i più complessi progetti industriali aerospaziali
- Contributo allo sviluppo di sistemi automatici, robotici e controllo di processo

- Gestione dei Sistemi di telerilevamento, osservazione e sorveglianza
- Responsabilità nelle missioni spaziali aerospaziali, incluse le operazioni di lancio e le operazioni di terra per il tracking, telecomando, telemisura ed elaborazione dei dati;
- Responsabilità nelle attività di applicazione dei mezzi, delle metodologie e dei dati spaziali nell'ingegneria industriale e civile.
- Aspetti ingegneristici degli effetti dell'ambiente spaziale sull'uomo e sulle componenti dei sistemi aerospaziali
- Supporto ai processi strategici e decisionali delle agenzie spaziali.

Nel mondo della ricerca:

- Ricerca nei settori dei sistemi spaziali con particolare riferimento alla miniaturizzazione delle componenti più tecnologicamente avanzate.
- Ricerca e sviluppo di materiali innovativi per impiego astronautico
- Ricerca nei settori dell'astrodinamica e del controllo dei sistemi aerospaziali
- Partecipazione a missioni scientifiche per l'esplorazione e la colonizzazione del sistema solare.

Nel mondo della formazione e diffusione della cultura:

- Formazione e aggiornamento del personale industriale e militare
- Diffusione della cultura aerospaziale in favore di realtà meno sviluppate nel settore aerospaziale

Nel mondo delle assicurazioni e del diritto:

- Contributo alla previsione e valutazione del rischio per le Compagnie
- Supporto alla predisposizione di accordi internazionali riguardanti le nuove situazioni che si verificano nello spazio
- Normative riguardanti le collisioni e la formazione di detriti spaziali
- Consulenza tecnico-giuridica per le controversie nel settore spaziale astronautico.

Il laureato speciale in Ingegneria Aerospaziale è inoltre qualificato per inserirsi nelle attività dei settori affini che traggono vantaggio dall'elevato contenuto scientifico e tecnologico proprio di questo ambito culturale.

MANIFESTO DEGLI STUDI 2015/16

Il Manifesto 2015-2016 prevede l'attivazione degli insegnamenti di seguito elencati:

INSEGNAMENTO	SSD	CFU
ADVANCED CONTROL OF SPACE VEHICLES Controllo avanzato dei veicoli spaziali	ING/INF-04	6
CONTROL THEORY FOR SPACE APPLICATIONS Teoria del controllo per applicazioni spaziali	ING/INF-04	6
DESIGN OF ELECTRONIC SYSTEMS FOR SPACE Progetto di sistemi elettronici per lo spazio	ING/INF-01	6
DUAL USE OF SPACE SYSTEMS Sistemi spaziali duali	ING/IND-05	6
DYNAMIC GAME THEORY IN FLIGHT MECHANICS Teoria dei giochi nella meccanica del volo	ING/IND-03	6
EFFECTS OF THE SPACE ENVIRONMENT ON ELECTRONIC COMPONENTS Effetto dell'ambiente spaziale sui componenti elettronici	ING/INF-01	6
ELECTRICAL POWER SYSTEMS FOR SPACE EXPLORATION Sistemi di potenza per applicazioni spaziali	ING/INF-01	6
ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN ASTRONAUTICAL SYSTEMS Compatibilità elettromagnetica nei sistemi astronautici	ING/IND-31	6
ELECTRONICS FOR SPACE TELECOMMUNICATION SYSTEMS Elettronica delle telecomunicazioni spaziali	ING/INF-01	6
FUNDAMENTALS OF NUCLEAR ENGINEERING FOR ASTRONAUTICS Fondamenti di ingegneria nucleare per l'aeronautica	ING/IND-19	6
HYBRID PROPULSION AND NEW LAUNCH SYSTEMS Propulsione ibrida e nuovi sistemi di lancio	ING/IND-07	6
HYPersonic FLIGHT AND REENTRY Volo ipersonico e rientro	ING/IND-03	6
LAW IN SPACE ACTIVITIES Diritto aerospaziale	IUS/13	6

LIFE SUPPORT SYSTEMS FOR PLANETARY EXPLORATION Sistemi di supporto alla vita per l'esplorazione spaziale	ING-IND/11	6
NAVIGATION Navigazione	ING/IND-05	6
NUMERICAL MODELING OF SPACE STRUCTURES Modelli numerici per le strutture spaziali	ING/IND-04	6
OPTIMIZATION METHODS IN ORBITAL MECHANICS Metodi di ottimizzazione nella meccanica orbitale	ING/IND-03	6
ORBIT DETERMINATION Determinazione orbitale	ING/IND-03	6
RADAR TELEMETRY FOR ASTRONAUTICS Telemetria radar per l'astronautica	ING/INF-03	6
SATELLITE REMOTE SENSING: ACQUISITION SYSTEMS AND DATA PROCESSING METHODS Sistemi spaziali di telerilevamento	ING/IND-05	6
SPACE DEBRIS Detriti spaziali	ING/IND-05	6
SPACE EXPLORATION ROBOTIC SYSTEMS Sistemi robotici per l'esplorazione spaziale	ING/IND-05	6
SPACE MISSIONS AND GRAVITATIONAL PHYSICS Missioni spaziali e fisica della gravitazione	FIS-01	6
SPACECRAFT ATTITUDE DETERMINATION AND CONTROL Determinazione e controllo di assetto	ING/IND-05	6
SPACE TECHNOLOGY Tecnologie spaziali	ING/IND-04	6
THEORY AND OPERATIONS OF FORMATION FLYING Volo in formazione	ING/IND-05	6
THERMOMECHANICAL INTERACTIONS IN SPACE VEHICLES Interazioni termomeccaniche nei veicoli spaziali	ING/IND-05	6

- **Esami di profitto**

L'accertamento delle conoscenze acquisite avviene mediante esami di profitto che consistono in una prova orale eventualmente preceduta da una prova scritta. La Commissione d'Esame è composta da docenti o esperti di comprovata esperienza, di cui uno è, di norma, il titolare dell'insegnamento.

La Laurea prevede undici insegnamenti da 6 crediti con obbligo di inserire nel piano di studi almeno cinque insegnamenti presi nei settori caratterizzanti della Ingegneria Aerospaziale.

Per gli studenti in possesso di laurea magistrale in classe LM 20 Ingegneria aerospaziale e astronautica o ad essa equiparata ovvero laureati in Ingegneria Aeronautica o Aerospaziale del vecchio ordinamento, per i quali la Laurea ha durata annuale, questo obbligo è ridotto ad un solo insegnamento.

I piani di studio dovranno essere compilati seguendo le indicazioni raccolte nella tabella riportata di seguito (tutti gli insegnamenti forniscono 6CFU).

- Almeno 30 CFU da scegliere nel gruppo A degli insegnamenti
- Altri 24 CFU da scegliere nei gruppi A e B degli insegnamenti
- 18 CFU liberi
- 18 CFU come altri crediti formativi (seminari, stages, corsi brevi)
- 30 CFU per la tesi di Laurea

Per gli studenti in possesso di lauree LM-20 o assimilabili:

- 6 CFU da scegliere nel gruppo A
- 18 CFU liberi
- 6 CFU come altri crediti formativi (seminari, stages, corsi brevi)
- 30 CFU per la tesi di Laurea

GRUPPO A

INSEGNAMENTO	SSD	CFU
DUAL USE OF SPACE SYSTEMS Sistemi spaziali duali	ING/IND-03	6
DYNAMIC GAME THEORY IN FLIGHT MECHANICS Teoria dei giochi nella meccanica del volo	ING/IND-03	6
HYBRID PROPULSION AND NEW LAUNCH SYSTEMS Propulsione ibrida e nuovi sistemi di lancio	ING/IND-07	6
HYPERSONIC FLIGHT AND REENTRY Volo ipersonico e rientro	ING/IND-03	6

NAVIGATION Navigazione	ING/IND-05	6
NUMERICAL MODELING OF SPACE STRUCTURES Modelli numerici per le strutture spaziali	ING/IND-04	6
OPTIMIZATION METHODS IN ORBITAL MECHANICS Metodi di ottimizzazione nella meccanica orbitale	ING/IND-03	6
ORBIT DETERMINATION Determinazione orbitale	ING/IND-03	6
SATELLITE REMOTE SENSING: ACQUISITION SYSTEMS AND DATA PROCESSING METHODS Sistemi spaziali di telerilevamento	ING/IND-05	6
SPACE DEBRIS Detriti spaziali	ING/IND-05	6
SPACE EXPLORATION ROBOTIC SYSTEMS Sistemi robotici per l'esplorazione spaziale	ING/IND-03	6
SPACECRAFT ATTITUDE DETERMINATION AND CONTROL Determinazione e controllo di assetto	ING/IND-05	6
SPACE TECHNOLOGY Tecnologie spaziali	ING/IND-04	6
FORMATION FLYING Volo in formazione	ING/IND-05	6
THERMOMECHANICAL INTERACTIONS IN SPACE VEHICLES Interazioni termomeccaniche nei veicoli spaziali	ING/IND-05	6

GRUPPO B

INSEGNAMENTO	SSD	CFU
ADVANCED CONTROL OF SPACE VEHICLES Controllo avanzato dei veicoli spaziali	ING/INF-04	6
CONTROL THEORY FOR SPACE APPLICATIONS Teoria del controllo per applicazioni spaziali	ING/INF-04	6
DESIGN OF ELECTRONIC SYSTEMS FOR SPACE Progetto di sistemi elettronici per lo spazio	ING/INF-01	6
EFFECTS OF THE SPACE ENVIRONMENT ON ELECTRONIC COMPONENTS Traduzione... Effetti dell'ambiente spaziale nei dispositivi elettronici	ING/INF-01	6
ELECTRICAL POWER SYSTEMS FOR SPACE EXPLORATION Sistemi di potenza per applicazioni spaziali	ING/INF-01	6
ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN ASTRONAUTICAL SYSTEMS Compatibilità elettromagnetica nei sistemi astronautici	ING/IND-31	6
FUNDAMENTALS OF NUCLEAR ENGINEERING FOR ASTRONAUTICS Fondamenti di ingegneria nucleare per l'astronautica	ING/IND-19	6
LAW IN SPACE ACTIVITIES Diritto aerospaziale	IUS-13	6
LIFE SUPPORT SYSTEMS FOR PLANETARY EXPLORATION Sistemi di supporto alla vita per l'esplorazione spaziale	ING/IND-11	6
RADAR TELEMETRY FOR ASTRONAUTICS Telemetria radar per l'astronautica	ING/INF-03	6
SPACE MISSIONS AND GRAVITATIONAL PHYSICS Missioni spaziali e fisica della gravitazione	FIS-01	6

- **Ulteriori attività formative (12/18 CFU)**

Gli studenti dovranno partecipare ad ulteriori attività formative (seminari, stages, corsi brevi...), opportunamente organizzate e/o coordinate dalla Scuola, per un minimo di 12 CFU per gli studenti in possesso di laurea LM-20 o assimilabili e di 18 CFU per tutti gli altri.

- **Prova finale (30 CFU)**

La prova finale consiste nello svolgimento di una tesi sperimentale o progettuale, da svilupparsi sotto la guida di un docente del Corso di Laurea, anche in collaborazione con istituti e centri di ricerca pubblici e privati.

La tesi, assegnata da un docente titolare di insegnamento che ne sarà il relatore, può essere redatta in lingua inglese e dà luogo all'attribuzione di 30 crediti.

All'esame finale possono accedere gli studenti che abbiano conseguito 30 crediti previsti nei curriculum per gli studenti in possesso di laurea LM-20 o assimilabili e di 90 CFU per tutti gli altri

La Commissione di Laurea, nominata dal Presidente del Corso di Studi, è composta da docenti ed esperti di comprovata competenza nel settore, anche esterni all'Università, per un totale di 7 membri.

PRIMO ANNO (A.A. 2015-16)

Primo semestre

Tipologia	Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
Tipo A	NAVIGATION	B	ING-IND/05	6	54	AP	EN
Tipo A	DUAL USE OF AEROSPACE SYSTEMS: DISARMAMENT, CONTROL AND NON-PROLIFERATION	B	ING-IND/03	6	54	AP	EN
Tipo A	ORBIT DETERMINATION	B	ING-IND/03	6	54	AP	EN
Tipo A	SPACECRAFT ATTITUDE DETERMINATION AND CONTROL	B	ING-IND/05	6	54	AP	EN
Tipo B	ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN ASTRONAUTICAL SYSTEMS	C	ING-INF/01	6	54	AP	EN
Tipo B	LAW IN SPACE ACTIVITIES	C	IUS/13	6	54	AP	EN

Secondo semestre

Tipologia	Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
Tipo A	OPTIMIZATION METHODS IN ORBITAL MECHANICS	B	ING-IND/03	6	54	AP	EN
Tipo A	HYPERSONIC FLIGHT AND REENTRY	B	ING-IND/03	6	54	AP	EN
Tipo A	HYBRID PROPULSION AND NEW LAUNCH SYSTEMS	B	ING-IND/07	6	54	AP	EN
Tipo A	SPACE TECHNOLOGY	B	ING-IND/04	6	54	AP	EN
Tipo B	CONTROL THEORY FOR SPACE APPLICATIONS	C	ING-INF/04	6	54	AP	EN
Tipo B	DESIGN OF ELECTRONIC SYSTEMS FOR SPACE	C	ING-INF/01	6	54	AP	EN
Tipo B	SPACE MISSIONS AND GRAVITATIONAL PHYSICS	C	FIS/01	6	54	AP	EN

SECONDO ANNO (A.A. 2016-17)

Primo semestre

Tipologia	Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
Tipo A	DYNAMIC GAME THEORY IN FLIGHT MECHANICS	B	ING-IND/03	6	54	AP	EN
Tipo A	SATELLITE REMOTE SENSING: ACQUISITION SYSTEMS AND DATA PROCESSING METHODS	B	ING-IND/05	6	54	AP	EN
Tipo A	SPACE DEBRIS	B	ING-IND/05	6	54	AP	EN
Tipo A	SPACE EXPLORATION ROBOTIC SYSTEMS	B	ING-IND/05	6	54	AP	EN
Tipo A	THERMOMECHANICAL INTERACTIONS IN SPACE VEHICLES	B	ING-IND/05	6	54	AP	EN
Tipo B	EFFECTS OF THE SPACE ENVIRONMENT ON ELECTRONIC COMPONENTS	C	ING-INF/01	6	54	AP	EN
Tipo B	ELECTRICAL POWER SYSTEMS FOR SPACE EXPLORATION	C	ING-INF/01	6	54	AP	EN

Secondo semestre

Tipologia	Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
Tipo A	FORMATION FLYING	B	ING-IND/05	6	54	AP	EN
Tipo A	NUMERICAL MODELING OF SPACE STRUCTURES	B	ING-IND/04	6	54	AP	EN
Tipo B	ADVANCED CONTROL OF SPACE VEHICLES	C	ING-INF/04	6	54	AP	EN
Tipo B	ELECTRONICS FOR SPACE TELECOMMUNICATION SYSTEMS	C	ING-INF-04	6	54	AP	EN
Tipo B	FUNDAMENTALS OF NUCLEAR ENGINEERING FOR ASTRONAUTICS	C	ING-IND/31	6	54	AP	EN
Tipo B	LIFE SUPPORT SYSTEMS FOR PLANETARY EXPLORATION	C	ING-IND/11	6	54	AP	EN
Tipo B	RADAR TELEMETRY FOR ASTRONAUTICS	C	ING-INF/03	6	54	AP	EN

Legenda

Tip. Att. (Tipo di attestato): AP (Attestazione di profitto), AF (Attestazione di frequenza), I (Idoneità)

Att. Form. (Attività formative): A (Attività formative di base), B (Attività formative caratterizzanti), C (Attività formative affini o integrative), D (Attività formative a scelta dello studente), E (Per la prova finale e la lingua straniera), F (Ulteriori attività formative), R (Affini e ambito di sede), S (Per stages e tirocini presso imprese, enti pubblici o privati, ordini professionali)

OBIETTIVI FORMATIVI DEI CORSI

SPACE TECHNOLOGY

Tecnologie spaziali

Technology and science are usually considered distinct disciplines. In this Course it will be shown that science is a key ingredient for developing new techniques and conversely technology is important for modern science to make new discoveries. Particular emphasis will be given to space missions and high energy physics experiment where aerospace materials are often used because of their high mechanical characteristics. Another part of the course is devoted to the technology of composite materials and to non destructive testing. The content of the Course includes : Use of non destructive testing for checking structural integrity of space structures manufactured in metallic and composite materials, Holographic interferometry as a non destructive technique, Practical problems of space missions from the structural and technological point of view (satellites, interplanetary probes and international space station) through real cases of space missions in which the School of Aerospace Engineering has been fully involved.

Ricerca scientifica e sviluppo tecnologico possono sembrare aspetti distinti: in questo corso si dimostra che la ricerca scientifica è centrale per lo sviluppo di nuove tecnologie e viceversa la tecnologia è un ingrediente importante per le nuove scoperte scientifiche. Nel corso verranno analizzati in particolare missioni spaziali per la fisica delle alte energie dove vengono utilizzati particolari materiali per l'aerospazio. Il Corso copre anche le tecnologie dei materiali compositi e dei test non distruttivi. In particolare: uso di test non distruttivi per il controllo della integrità di strutture aerospaziali realizzate in composito o in metallo, olografia interferometrica come metodo di controllo non distruttivo, problemi concreti insorti nelle missioni spaziali nelle quali la Scuola di Ingegneria Aerospaziale ha partecipato, con particolare riferimento agli aspetti strutturali e tecnologici (nei satelliti, nelle sonde interplanetarie e nella Stazione Spaziale).

ADVANCED CONTROL OF SPACE VEHICLES

Controllo avanzato di veicoli spaziali

Main aim of this course is to introduce students to tools from modern control theory applied to design and analysis of active attitude control systems for space vehicles. Those tools are important for designing advanced attitude control systems for which high performances are required. Students will be introduced to software applications that support analysis and design by those tools.

Lo scopo principale del corso è presentare agli studenti metodi della teoria moderna del controllo applicati all'analisi e sintesi di sistemi di controllo d'assetto attivi per veicoli spaziali. Tali metodi sono importanti per progettare sistemi di controllo d'assetto avanzati per i quali si richiedono prestazioni elevate. Saranno presentate agli studenti applicazioni software che supportano analisi e sintesi eseguite con tali metodi.

CONTROL THEORY IN SPACE APPLICATIONS

Teoria del Controllo per applicazioni spaziali

The course has the dual objective of orientation for newcomers of control theory, but also to provide some advanced insight on the theory, both from a conceptual and a practical point of view, for students already trained in control theory. This is accomplished by a series of lessons presenting the concepts of control theory, analysis and specification, the formulation of control problems , the presentation of the methods in a linear and nonlinear context, continuous and discrete time. The class offers a whole contents of the training for students with no expertise in control theory. To complement the theoretical activities, those students that have already taken exams in the field of the automatic control in the previous university education will be involved in the development of an educational project relevant to the problems of controlling the space segment.

Il corso ha l'obiettivo duale di orientamento per studenti non esposti alla teoria del controllo, ma anche di fornire a studenti già esposti alla teoria del controllo alcune informazioni approfondite della teoria, sia da un punto di vista concettuale che pratico. Ciò è ottenuto con una serie di lezioni in cui si presentano i concetti della teoria del controllo, analisi e requisiti, la formulazione di problemi di controllo, la presentazione di metodi in ambito lineare e nonlineare, tempo continuo e tempo discreto. Il corso offre un panorama completo della formazione per studenti senza conoscenza di teoria del controllo. Come complemento all'attività teorica, gli studenti che hanno già seguito corsi sui controlli automatici nella formazione universitaria precedente saranno coinvolti nello sviluppo di un progetto relativo a problemi di controllo del segmento spaziale.

DESIGN OF ELECTRONIC SYSTEMS FOR SPACE

Progetto di sistemi elettronici per lo spazio

The course introduces the effects of the space environment (radiation, temperature, vacuum) on electronic components, showing their impact on the satellite subsystems. The main design techniques for the mitigation of these effects are investigated including system-level approaches, board-level design techniques and component-selection considerations. In addition, software and firmware design methods for reliable operation of digital on-board electronics are presented. Acquired knowledge will be then applied by the students to real design cases (either firmware or hardware) under the supervision of the lecturer. With this course the student will acquire knowledge in the design of satellite's on-board electronics and will have the chance to put in practice the acquired knowledge with practical hardware and software design exercises.

Il Corso analizza gli effetti dell'ambiente spaziale (radiazioni, effetti termici, vuoto) sulle componenti elettroniche, mostrandone l'impatto sui sottosistemi satellitari. Sono introdotte le principali tecniche di progettazione per mitigare questi effetti, incluse le analisi a livello di sistema, di disegno delle schede e della scelta delle componenti elettroniche. Inoltre vengono spiegati i metodi per la progettazione software e firmware di componenti elettroniche robuste alle perturbazioni ambientali. Un utile strumento didattico sarà la progettazione e realizzazione di componenti elettroniche reali sotto la supervisione del docente. In questo modo gli studenti avranno la possibilità di acquisire competenze nel disegno della elettronica di bordo satellitare e applicare le conoscenze acquisite in una attività concreta di progetto e realizzazione.

DUAL AEROSPACE SYSTEMS

Sistemi aerospaziali duali

The purpose of this course is to provide knowledge regarding the sensitive issue of dual-use items and technology control and non-proliferation. The United Nations Security Council Resolution 1540, adopted on 28 April 2004, decided that all States must take and enforce effective measures to establish domestic controls to prevent the proliferation of nuclear, chemical or biological weapons and their means of delivery.

Related matters are materials, equipment and technology items covered by relevant multilateral treaties and arrangements, or included on national control lists.

Arms control and non-proliferation goes under the Italian Law 185/90 and its amendments, while the European state members adopt the 428/2009 Regulation and its amendments, which sets up a Community regime for the control of exports, transfer, brokering and transit of dual-use items. Both the Italian Law 185/90 and the EU Reg. 428/2009 provide the list of arms and dual-use items and technologies according to the international non-proliferation regimes and the international treaties such as the Wassenaar Arrangement, the Missile Technology Control Regime (MTCR), the Nuclear Supplier's group (NSG), the Australia Group and the Chemical Weapons Convention (CWC).

Those regimes and treaties are the result of all-encompassing engineering backgrounds, from materials to propulsion, aerospace, electronics, computers etc.; in fact, the high-tech nature of military/dual-use goods and technologies is a crucial sector which must be guided taking into account simultaneously security objectives, innovation, strategic and industrial Competitiveness. The course aims at providing scientific-technical insights underlying the items and technologies reported in the Law and Regulation, with the goal of improving the Italian, EU and international security, providing new cultural and scientific expertise and then new, highly skilled, job opportunities. In fact, experts may be employed in several realities like Universities, Institutions (i.e. Intelligence, Ministries, Offices), International Organizations (i.e. IAEA, UNDESA, UNODA, etc.) and Companies, which would have "in-house" "Arms and/or Dual Use-experts", in order to improve the national and international security.

Il fine del corso è di introdurre i sistemi spaziali ad uso duale, coprendo anche gli aspetti del controllo delle tecnologie e la non proliferazione. La risoluzione 1540 del Consiglio di Sicurezza delle Nazioni Unite ha stabilito la necessità del controllo dei sistemi spaziali per evitare il proliferare di armamenti di natura nucleare, chimica o batteriologica. Collegati a questi aspetti sono le liste di materiali e tecnologie per l'aerospazio posti sotto osservazione e controllo nazionale e internazionale attraverso diversi trattati e interventi legislativi. Questi sono il frutto di una accurata analisi dai punti di vista ingegneristico dei sistemi spaziali che comprende i materiali, la propulsione, l'elettronica, i sistemi di guida e navigazione, le tecnologie. Il corso approfondisce questi aspetti di natura sistemistica e tecnologica evidenziando i riflessi che questi hanno in materia di sicurezza e non proliferazione e fornendo una competenza tecnica originale che può essere utilmente impiegata presso le organizzazioni nazionali e internazionali (IAEA, UNDESA, UNODA, etc.) impegnate nel settore della sicurezza.

(DYNAMIC)GAME THEORY IN FLIGHT MECHANICS

Teoria dei giochi nella meccanica del volo

Aerospace vehicles can be involved in challenging scenarios in which two or more competing objectives exist and drive the overall dynamics. Noncooperative motion of two distinct vehicles is to be investigated through dynamic game theory, a multi-agent decision theory that addresses the situations in which two or more competing actors are involved. Dynamic game theory has application in economics, computer science, operations research, environmental science, and engineering. In particular, this course covers the theoretical foundations of dynamic game theory, regarded as an extension of optimal control theory, which pertains to a single actor. Nash and saddle-point equilibrium solutions, associated with the use of optimal strategies by all the players, are defined, and the related analytical conditions are derived. Possible applications in flight mechanics range from the optimal interception of optimally evasive targets to the worst-case performance analysis of aerospace vehicles in uncertain environments, by assuming that the second player is the hostile environment. More specifically, several scenarios exist that can be modeled as zero-sum dynamic games: (a) fighter aircraft evasion maneuvers against an intercepting missile, (b) air combats involving fighter aircraft and unmanned aerial vehicles, (c) noncooperative spacecraft interception, and (d) noncooperative orbit maneuvers of two space vehicles in close proximity. These scenarios are associated with distinct dynamical frameworks, and the numerical solution of the related games indicates the optimal maneuvers that each vehicle must perform in order to penalize the opponent player as much as possible. The course is organized as follows: Fundamentals of optimal control theory, Introduction on noncooperative dynamic game theory, Pursuit-evasion (zero-sum) dynamic games, Numerical solution techniques for zero-sum dynamic games, Maneuvers of two competing vehicles in atmospheric flight, Maneuvers of two competing vehicles in exoatmospheric flight, Maneuvers of two orbiting spacecraft in close proximity.

I veicoli aerospaziali possono essere impiegati in scenari competitivi che coinvolgono due o più soggetti. Queste situazioni possono essere analizzate attraverso la teoria dei giochi. Questa teoria ha applicazioni in economia, informatica, ricerca operativa, biologia e ingegneria dei sistemi. Il Corso copre gli aspetti fondamentali della teoria, che può essere considerata una estensione della teoria del controllo ottimo. In particolare vengono introdotte le soluzioni di equilibrio di Nash e di punto-sella che scaturiscono dalla ottimizzazione simultanea di più attori che concorrono con obiettivi diversi. le applicazioni nella meccanica del volo riguardano un vasto campo che va dall'intercetto di un obiettivo che manovra in modo ottimo per evadere fino alla analisi delle prestazioni di un velivolo in un ambiente esterno poco definito od ostile. In particolare diverse applicazioni rientrano nella casistica dei giochi " somma nulla": a) manovre di evasione di un velivolo contro un missile attaccante, b) manovre di difesa nel combattimento aereo, c) intercettazione di satelliti, d) manovre tra satelliti in prossimità e non cooperativi. Ciascuno di questi esempi ha una espressione in teoria dei giochi con una specifica dinamica e la soluzione numerica del relativo gioco indica quale è la strategia ottima di un giocatore nei confronti dell'altro. Il contenuto del Corso è riassumibile in: Fondamenti di teoria del controllo ottimo, Introduzione della teoria dei giochi tra soggetti non cooperativi, Giochi dinamici di inseguimento-evasione (a somma zero), Tecniche di soluzione numerica, Manovre tra due aerei in competizione, Manovre tra due veicoli spaziali in competizione, Manovre tra due satelliti in prossimità.

EFFECTS OF THE SPACE ENVIRONMENT ON ELECTRONIC COMPONENTS

Effetti dell' ambiente spaziale nei dispositivi elettronici

The course aims at providing basic knowledge about degradation of electronic materials and components in the space environment. The course illustrates the mechanisms for radiation damage and their effects on the most common types of electronic components: solar cells, diodes, transistors. Some approaches for increasing reliability are then described. The SPENVIS software and its use for predicting degradation of components is introduced.

Il Corso è dedicato allo studio della degradazione dei materiali e componenti elettronici a causa dell'ambiente spaziale. Vengono approfonditi i meccanismi di danno da radiazione ed in particolare i loro effetti su celle solari, diodi e transistor. Vengono approfonditi alcuni approcci per aumentare l'affidabilità dei componenti. Si introduce all'impiego del software SPENVIS per la predizione della degradazione dei componenti elettronici nello spazio.

ELECTRICAL POWER SYSTEMS FOR SPACE EXPLORATION

Sistemi di potenza per applicazioni spaziali

The course is intended to provide advanced knowledge about Electrical Power Systems in satellite and other space vehicles. Information about operating principles, constraints arising from space environment and peculiar design techniques are provided for the most common approaches used in space vehicles for power generation, storage and management.

Il Corso è dedicato allo studio avanzato e la progettazione di sistemi di potenza per satelliti e in generale per veicoli spaziali. Vengono introdotti i principi operativi, i vincoli dovuti all'ambiente spaziale e insegnate le principali tecniche di progettazione per la generazione, l'immagazzinamento e la gestione della potenza di bordo.

ELECTRONICS FOR SPACE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Elettronica delle telecomunicazioni spaziali

Fundamental concepts. Analog and digital modulation techniques. Architectures of space telecommunication systems. Operation of the main functional blocks. Multiple access and multiplexing. Link analysis and design.

Concetti fondamentali. Tecniche di modulazione analogiche e digitali. Architetture dei sistemi di telecomunicazione spaziali. Funzionamento dei principali blocchi funzionali di un sistema di telecomunicazione. Tecniche di accesso multiplo e multiplexing. Analisi e progetto della tratta.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN ASTRONAUTICAL SYSTEMS

Compatibilità elettromagnetica nei dispositivi astronautici

The course is intended to provide basic knowledge on electromagnetic compatibility of components and complex systems. It also introduces the main techniques and methods for the analysis and design of systems with high immunity against electromagnetic disturbances as well as techniques for the protection from interferences. It will also present the standards and metrology for electromagnetic compatibility.

Il Corso è dedicato agli aspetti fondamentali della compatibilità elettromagnetica relativi ai componenti ed ai sistemi complessi. Vengono introdotte le tecniche più avanzate per il progetto ed il controllo di sistemi ad alta immunità ai disturbi elettromagnetici e le tecniche per la protezione da interferenze. Sono inoltre richiamati gli standard e le modalità codificate di misura della compatibilità elettromagnetica.

FUNDAMENTALS OF NUCLEAR ENGINEERING FOR ASTRONAUTICS

Fondamenti di ingegneria nucleare per l'aeronautica

The Course will provide the basics necessary to physical understanding of nuclear energy systems and radiation protection. The main objectives are (a) knowledge of benefits and key aspects of engineering, technology and safety associated with the nuclear energy use in space applications, (b) identification of the main features of the systems of nuclear power generation, and of the connected systems for conversion and propulsion, (c) knowledge of the state of the international research and perspectives of nuclear energy use for space applications. The Course is organized as follows:

Fundamentals: Physics of nuclear reactions: radioactive decay, sources of radiation, interaction of ionizing radiation with matter, nuclear reactions. Physics of nuclear fission: neutron flux, impact Sections, Fast neutrons and thermal neutrons, the slowdown, the moderators, the resonances of capture, burn-up. The nuclear fusion reactions. Basic concepts of radiation protection: Unit Radioactivity, dosimetry, the Environmental Radioactivity, Radiation Effects on humans, protection systems, exposure limits.

Nuclear energy for Space Applications: advantages over other energy sources. Nuclear energy generators. Engineering and technological aspects of the Space Applications of Nuclear Power: shielding of Radiation Heat Transfer, Materials. Elements of Physics Reactor. Nuclear fission reactors configurations for onboard needs and size. The Nuclear Safety in the different stages of a Space Mission. Nuclear Energy perspectives in peaceful applications.

Systems for Nuclear Power Generation and Propulsion: Classification of systems. Systems of radioisotopes. Conceptual projects of Nuclear Reactors. Static (thermoelectric and thermoionic) and Dynamic (Bryton, Rankine, Stirling, magnetohydrodynamic) conversion systems. Reactors with solid, liquid and gas kernel. Fuels. Heat tubes reactor. Electro-nuclear propulsion systems. Thermo-nuclear propulsion systems. Advanced Systems. The International Space Nuclear Programs.

Il Corso ha il fine di fornire le nozioni fisiche di base necessarie alla comprensione dei sistemi energetici nucleari e della radioprotezione e porta alla conoscenza dei vantaggi e dei principali aspetti ingegneristici, tecnologici e di sicurezza connessi con l'uso dell'energia nucleare nelle applicazioni spaziali. Vengono identificate le principali caratteristiche dei sistemi di generazione nucleare e dei sistemi connessi di conversione e di propulsione. Vengono ricordate le attuali ricerche internazionali e le prospettive dell'utilizzo dell'energia nucleare per le applicazioni spaziali. I contenuti sono così riassunti: Fisica delle reazioni nucleari: il decadimento radioattivo, sorgenti di radiazioni, interazione della radiazione ionizzante con la materia, reazioni nucleari. Fisica della fissione nucleare: flusso neutronico, sezioni d'urto, neutroni veloci e neutroni termici, il rallentamento, i moderatori, le risonanze di cattura, il burn-up. Le reazioni di fusione nucleare. Concetti base di radioprotezione: unità di misura della

radioattività, dosimetria, la radioattività ambientale, effetti sull'uomo delle radiazioni, schermature, limiti di esposizione. L'energia nucleare per le applicazioni spaziali: Vantaggi rispetto alle altre fonti di energia. Generatori nucleari di energia. Aspetti ingegneristici e tecnologici delle applicazioni spaziali dell'energia nucleare: schermaggio delle radiazioni, trasmissione del calore, materiali. Cenni di fisica del reattore. Configurazioni di reattori nucleari a fissione per esigenze di bordo e di superficie. La sicurezza nucleare nelle diverse fasi delle missioni spaziali. Prospettive dell'energia nucleare nelle applicazioni spaziali. I Sistemi nucleari per la generazione di energia e la propulsione: Classificazione dei sistemi. Sistemi a radioisotopi. Progetti concettuali di reattori nucleari per . Sistemi di conversione statici (termoelettrica e termoionica) e dinamici (Bryton, Rankine, Stirling, magnetoidrodinamici). Reattori a nocciolo solido, liquido e gassoso. Combustibili. Reattori a tubi di calore. Sistemi di propulsione elettronucleari. Sistemi di propulsione termonucleari. Sistemi avanzati. I programmi nucleari spaziali internazionali.

HYBRID PROPULSION AND NEW LAUNCH SYSTEMS

Propulsione ibrida e sistemi di lancio innovativi

Definition of propulsion by rocket : static performance of rockets for launch to space missions ; definition of thrust and drag ; equation of motion of a rocket ; state variables and control ; constraints on the trajectory . Performance of single-stage and multistage rocket . Definition of thrust requirements for performing space missions. Definition and classification of Propellants for hybrid engines. Process Combustion : subsonic combustion . Influence of the initial conditions of the propellant . Calculation of the temperature of combustion in conditions of chemical equilibrium. Sizing and design procedures for (a) Injection system (injectors), (b) nozzle, (c) thrust chamber. New launch systems: (a) gun launch to orbit (ram accelerator and railgun), (b) launch from aircraft in subsonic flight, (c) airbreathing SSTO launch vehicles.

Definizione della propulsione a razzo. Prestazioni statiche di razzi per le missioni spaziali. Definizione di spinta e resistenza. Equazione del moto di un razzo. Variabili di stato e controllo. Vincoli sulla traiettoria. Prestazioni di vettori a uno o più stadi. Definizione dei requisiti di spinta per le diverse missioni spaziali. Classificazione dei propellenti per motori ibridi. Processo di combustione subsonica, supersonica e ipersonica. Influenza delle condizioni iniziali del propellente. Calcolo della temperatura di combustione in condizioni di equilibrio chimico. Procedure di dimensionamento e progetto per sistemi a iniezione, ugelli, camera di combustione. Nuovi sistemi di lancio. Gun (acceleratore ram e rail-gun). Lancio da aereo in volo subsonico. Veicoli SSTO air-breathing.

HYPERSONIC FLIGHT AND REENTRY TRAJECTORIES

Volo ipersonico e traiettorie di rientro

The experience of the Space Shuttle flights and the steadily increasing interest for commercial suborbital flights is focusing attention toward very high speed atmospheric trajectories. This is the field of hypersonic flight mechanics, a combination of orbital and atmospheric flight mechanics. This Course is devoted to entry dynamics and will provide the students with classical and recent methods in atmospheric entry. A unique opportunity is given to the students , offering them the elements of the practical experience of several entry flights performed in different Soyuz and Shuttle missions. The Course is organized as follows: Hypersonic and Newtonian flow, Aerodynamics heating, Reentry Trajectories and Reentry Corridor, Patched asymptotic solutions and explicit real time reentry guidance, Hypersonic Flight with lift modulation, Reentry practical flight experience: hints to the modeling and control of hypersonic flight.

L'esperienza dello Space Shuttle e il crescente interesse per i voli commerciali suborbitali focalizza l'attenzione verso traiettorie atmosferiche ad alta velocità: è il campo della meccanica del volo ipersonico, combinazione della meccanica del volo atmosferico e di quello orbitale. Il corso si concentra sulla dinamica del rientro e fornirà agli studenti l'analisi dei metodi classici e di quelli più recenti per l'ingresso in atmosferica. Agli studenti sono presentati i risultati di missioni reali svolte con Shuttle e Soyuz. Nel dettaglio, sono trattati i seguenti temi: flusso newtoniano e ipersonico, riscaldamento aerodinamico, traiettorie e corridoio di rientro, soluzione asintotiche raccordate, guida esplicita in tempo reale del rientro, volo ipersonico con modulazione della portanza, esperienze pratiche dei voli di rientro, modellistica del volo ipersonico.

LAW IN SPACE ACTIVITIES

Diritto aerospaziale

The course is intended to provide basic knowledge on the following topics: a) laws regulating the space activities. b) complete the knowledge acquired in the courses of engineering with the deepening of the legal regulation of the aerospace activities. The content of the course takes into account the relevant change that the law regulating the space activities underwent since the first Treaty of the United Nations (1967). The course is divided into four modules. The first concerns the basic principles governing the aerospace activities; the second module concerns the rules applicable to space applications, particularly remote sensing and satellite navigation, launching and the international space station.

The third module examines the main legal and institutional issues related to space activities in cooperation between European states (EU and ESA). Finally, the fourth module deals with the development of national legislation in the field of space activities, with reference to Italy, and in a comparative perspective.

Il corso è volto a fornire le conoscenze di base sui seguenti temi: a) leggi che regolano le attività spaziali, e b) approfondimento della regolamentazione legale delle attività spaziali. L'insegnamento tiene conto delle rilevanti modifiche intervenute nel settore dal primo Trattato delle Nazioni Unite (1967). Il corso è diviso in quattro moduli. Il primo modulo riguarda i principi base che governano le attività aerospaziali. Il secondo tratta le regole applicabili alle diverse applicazioni, in particolare al telerilevamento, la navigazione satellitare, i lanci e la stazione internazionale. Il terzo modulo esamina le questioni inerenti le missioni svolte in cooperazione fra le nazioni europee (Unione Europea e Agenzia Spaziale Europea). Il quarto modulo si interessa dello sviluppo della legislazione nazionale nel campo delle attività spaziale, con riferimento all'Italia e in una prospettiva comparativa con le altre nazioni.

LIFE SUPPORT SYSTEMS FOR PLANETARY EXPLORATION

Sistemi di supporto alla vita per l'esplorazione spaziale

This course addresses the aspects of human life support during space flight, in the perspective of future long-term human missions in the solar system. Specifically, the following topics are covered: 1. Human rating requirements: Design Standards, Crew Habitability, Safety and Reliability Requirements; 2. Space flight health requirements: Environmental Health, Water Quality, Water System Decontamination, Air Quality, Air System Decontamination; 3. Environment maintenance: plant growth, biomass production, resources from biomass production.

Il corso tratta gli aspetti del supporto alla vita durante il volo spaziale, nella prospettiva di future, prolungate missioni umane nel sistema solare. Specificamente, vengono analizzati i seguenti aspetti: 1. Qualifica per il volo umano: standard di progetto, abitabilità per l'equipaggio, affidabilità e sicurezza. 2. Requisiti per la salute a bordo: ambiente, qualità dell'acqua, decontaminazione del sistema idraulico, qualità dell'aria, decontaminazione del sistema di ventilazione. 3. Mantenimento dell'ambiente: crescita delle piante, produzione di biomasse, risorse dalla produzione di biomasse.

NAVIGATION

Navigazione

The concept of navigation. Fixing vs. deduced reckoning. Different classes of navigation. Time and space reference frames. Reporting navigation solution: fundamentals of cartography and geodesy. Navigation in real time vs. trajectography. Navigation as an element of the Guidance-Control-Navigation loop. Effects of navigation accuracy on system performance.

Navigation instruments. Characteristics and metrological properties of the sensors. Basics of probability and statistics. Improving the navigation solution. Filtering techniques. Linear and Extended Kalman Filter. Unscented Kalman Filter. Particle Filter. Integrated navigation.

Satellite-based navigation. From TRANSIT (Doppler-count) to time-of-arrival systems. Pseudorange, linearized solution, effects of geometry, expected budget error. GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou systems: similarities and differences. Differential navigation and augmentation systems. GPS experiments with lab's test bed.

Inertial Navigation. Stable platforms and strap-down architectures. Accelerometers and gyroscopes. MEMS. Optical gyros. Attitude reconstruction. Mechanizations. Instability. Experiments with lab's test bed.

Visual-based navigation. Feature recognition and Hough transform techniques. Experiments with lab's test bed.

Terrestrial applications: road vehicles and railways. Navigation and telematics. Marine applications: typical solutions in extreme weather and berthing. Aeronautical applications: from classical ground-based RF aiding (LORAN, VOR, DME, ILS) to satellite-based techniques. Procedural vs. free route navigation.

Space applications. Launchers' navigation systems. Orbit determination in LEO and GEO. GNSS-based attitude determination. Tracking deep-space probes. The case for lunar missions.

Concetto di navigazione: fixing/deduced reckoning, navigazione real time/traiettografia. Differenti tipologie di navigazione. Sistemi di riferimento spaziali e scale temporali. Rappresentazione della soluzione di navigazione: cenni di cartografia e geodesia. Navigazione come elemento del ciclo di guida, navigazione e controllo ed effetti sulle prestazioni di un sistema.

Strumenti di navigazione. Caratteristiche metrologiche dei sensori. Basi di probabilità e statistica. Tecniche di filtraggio. Filtro di Kalman linear, esteso e unscented, filtro alle particelle. Navigazione integrata.

Navigazione da satellite. Dai sistemi basati sul conteggio Doppler (TRANSIT) ai sistemi basati sul tempo di transito del segnale. Definizione e valutazione dello pseudorange, effetto della geometria satelliti-osservatore e valutazione degli errori sulla soluzione. Comunanze e differenze fra i sistemi GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou. Tecniche di navigazione differenziale. Esperimenti con i ricevitori disponibili nel laboratorio di Guida e Navigazione.

Navigazione inerziale. Piattaforme stabilizzate e architettura strap-down. Accelerometri e giroscopi. Giroscopi ottici. Sistemi di sensori micro-elettro-meccanici (MEMS). Ricostruzione dell'assetto. Meccanizzazioni. Instabilità. Esperimenti con la strumentazione del laboratorio di Guida e Navigazione.

Navigazione per immagini. Riconoscimento dei punti notevoli e trasformata di Hough. Esperimenti con il set-up di laboratorio.

Applicazioni terrestri: veicoli stradali e ferrovie. Navigazione e telematica. Applicazioni marittime: soluzioni per le condizioni meteo estreme e per la guida in porto e l'ormeggio. Applicazioni aeronautiche: dai sistemi di terra in radiofrequenza alle tecniche basate su GNSS. Navigazione procedurale e free-route.

Applicazioni spaziali. Sistemi di navigazione dei lanciatori. Determinazione orbitale in LEO e GEO. Tracking delle sonde interplanetarie. Tracking delle sonde lunari. Determinazione d'assetto mediante GNSS.

NUMERICAL MODELING OF SPACE STRUCTURES

Modellazione numerica delle strutture spaziali

The design of astronautic structures is always a trade-off between weight, complexity, manufacturing cost and the ability of withstanding the loads during the launch and the operational life. One of the most powerful and commonly used tools for the structural design is the Finite Element Method (FEM). In the School of Aerospace Engineering FEM analysis is used for modeling the structure of small satellites and their payloads (such as CubeSats), and also for bigger structures (such as antennas, or separation systems such as the one developed for the LARES mission). The course will discuss the most common design techniques for space structures using statics and dynamics FEM analysis. Practical examples using FEM software will be presented to better understand specific problems. The course is focused on the following topics: Stress and strain state around a generic point by continuum mechanics theory, Use of most common software for pre and post processing in structural mechanics, Specific design techniques for space structures, Theory of Finite element analysis: static and dynamics, Practical Finite element analysis with freeware software.

Il progetto dei sistemi astronautici è il risultato di un compromesso tra massa, complessità, costo di fabbricazione e comprensione degli effettivi carichi agenti durante il lancio e la vita operativa. Uno dei più potenti e diffusi strumenti per il progetto strutturale è il metodo agli elementi finiti (FEM). Alla scuola di Ingegneria Aerospaziale l'analisi FEM è correntemente utilizzato per modellare la struttura dei piccoli satelliti e dei loro payload, e anche per strutture di maggiori dimensioni come antenne o sistemi di separazione come quello sviluppato per la missione LARES. Nel corso verranno affrontate le tecniche di progetto con l'ausilio di analisi FEM statica e dinamica, attraverso i seguenti argomenti: richiami di meccanica del continuo con valutazione delle deformazioni e degli sforzi, utilizzo di codici per pre- e post-processing in meccanica strutturale, tecniche speciali per la modellazione di strutture spaziali, teoria dell'analisi agli elementi finiti, esempi di analisi FEM.

OPTIMIZATION METHODS IN ORBITAL MECHANICS

Metodi di ottimizzazione in meccanica orbitale

The determination of a nominal trajectory is an essential premise for the realization of a space mission, and leads to defining the performance attainable from a given space system, with reference to the operational scenario. Hence, trajectory optimization is a central topic in the context of aerospace mission analysis. This course provides the students with the theoretical foundations and the algorithmic techniques tailored to solving spacecraft trajectory optimization problems. Specifically, the course first illustrates nonlinear programming and optimal control theory. Then, the primer vector theory is derived and applied to finite-thrust and impulsive transfers, with the final result of identifying analytically the globally optimal transfers between two arbitrary Keplerian paths. As most space trajectory optimization problems are not amenable to an analytical solution, numerical techniques are usually employed. Indirect deterministic methods use the analytical conditions arising from the calculus of variations. Direct approaches convert the optimal control problem into a parameter optimization problem. Most recently, heuristic methods have been introduced. They emulate the stochastic behavior of a population of individuals, under the assumption that each of them represents a possible solution to the problem of interest. An overview on all these techniques is given in the course, and two applicative scenarios are considered: (a) relative orbit maneuvers and (b) low-energy orbit transfers. In the context of relative orbit maneuvers, several analytical properties exist that facilitate solving minimum-time and minimum-fuel trajectory optimization problems. These properties are derived and employed, with the objective of determining the optimal paths in a variety of cases. Moreover, this course addresses optimal impulsive and finite-thrust low-energy orbit transfers, using also invariant manifold dynamics, which allows considerable propellant savings while increasing mission flexibility. At the end of the course, the student will possess the theoretical principles and the practical techniques to solve trajectory optimization problems, as well as the capability of choosing the appropriate method of solution with regard to the problem of interest. The course is organized as it follows:

Parameter optimization, Optimal control theory, Primer vector theory, Globally optimal impulsive transfers, Overview of numerical techniques for spacecraft trajectory optimization, Optimal relative orbit maneuvering, Optimization of low-energy orbit transfers.

La determinazione della traiettoria nominale è premessa essenziale di una missione spaziale e definisce le prestazioni ottenibili in un determinato scenario: l'ottimizzazione delle traiettorie è quindi elemento cardine nel contesto dell'analisi di missione. Il corso fornisce agli studenti le basi teoriche e gli algoritmi per la soluzione dei problemi di ottimizzazione delle traiettorie spaziali, a partire dai concetti di programmazione non lineare e teoria del controllo ottimo. La teoria dei prime vector è ricavata e applicata ai trasferimenti impulsivi e a quelli continui, con il calcolo dei trasferimenti ottimi tra orbite kepleriane. Viene introdotta la trasposizione in problemi numerici, dettata dalla frequente assenza di soluzioni analitiche, tanto con metodi diretti quanto con più recenti metodi euristici. Sono analizzati in particolare i casi di manovre relative e di trasferimenti a bassa energia. Nel primo caso alcune proprietà analitiche permettono una più agevole soluzione dei problemi a tempo minimo e a consumo minimo. Le traiettorie impulsive e quelle tempo-finito a bassa energia sono analizzate introducendo il moderno approccio degli insiemi dinamici invarianti, che permette un notevole risparmio di propellente e una maggiore flessibilità. Alla fine del corso gli studenti dispongono delle basi teoriche e delle capacità operative per risolvere un problema di ottimizzazione di traiettoria, scegliendo opportunamente l'approccio più conveniente.

ORBIT DETERMINATION

Determinazione orbitale

Orbit determination is a key factor in the satellite operations. In general, satellite tracking requires in general a course orbit determination since generally the antennas footprint and signal tracking will compensate the errors in the orbit determination. However different missions require a very accurate orbit determination for scientific purposes. The School of Aerospace Engineering is involved in one of the most demanding mission in terms of orbit determination accuracy, the Lares mission, which is testing the general relativity principles, whose effects are of orders of magnitude lower than the usual perturbation effects on the satellite orbit. This Course will transfer to the students the current methods in accurate orbit determination. The students will also have the occasion of doing practical experience on orbit determination of highly demanding scientific missions, such as Lares. The course is organized as follows: Numerical techniques applied to orbital analysis, Techniques of satellite position measurement, Statistical treatment of orbital observations and filters, Fundamentals of C++/Fortran for Laboratory exercises.

La determinazione orbitale è fondamentale elemento delle operazioni spaziali: in genere una determinazione approssimata è sufficiente per l'inseguimento di un satellite, considerate l'ampiezza dell'impronta a terra e le prestazioni dei sistemi di acquisizione del segnale, ma – in casi particolari e soprattutto in alcune missioni scientifiche – i requisiti possono divenire assai più spinti. La Scuola di Ingegneria Aerospaziale è coinvolta in una di queste missioni, il programma LARES, che ha per scopo la determinazione dei principi di relatività generale i cui effetti sono assai più piccoli di quelli delle perturbazioni orbitali. Saranno presentate agli studenti le tecniche di determinazione orbitale di uso attuale, e si svolgeranno esercitazioni pratiche sui dati di missioni scientifiche come LARES. In particolare saranno trattate a lezione le tecniche numeriche per l'analisi orbitale, le tecniche di posizionamento di satelliti, le tecniche statistiche di analisi e filtraggio delle osservazioni.

RADAR TELEMETRY IN ASTRONAUTICS

Telemetria radar per l'astronautica

The course deals with radar systems in remote sensing applications, either for Earth and Planetary observation, interferometric SAR, radar altimeters and radar sounders. SAR working principles, applications and sizing of the main system parameters.

Radar interferometry, baseline, altitude estimation, estimation accuracy, baseline decorrelation, time decorrelation. Radar altimetry: pulse limited geometry, Brown model, RX-TX block diagram, estimate of surface parameters, Cramer-Rao bounds, MLE and SMLE estimator. Spaceborn radars: Cassini, Marsis and Sharad.

Il corso affronta i sistemi radar per applicazioni di telerilevamento, sia in ambito terrestre che per l'osservazione planetaria, SAR interferometrici, altimetri radar e scandagli radar. Principi di lavoro dei SAR, applicazioni e dimensionamento dei principali parametri di sistema.

Fondamenti di interferometria Radar, stima di altitudine, la precisione di stima, decorrelazione, tempo di decorrelazione. Altimetria Radar: geometria limitata dall'impulso, modello di Brown, schema a blocchi RX-TX, stima dei parametri di superficie, limiti Cramer-Rao, stimatore MLE e SMLE. Radar spaziali: Cassini, Marsis e Sharad.

SATELLITE REMOTE SENSING: ACQUISITION SYSTEMS AND DATA PROCESSING METHODS

Sistemi spaziali di telerilevamento

Part I: Space based acquisition systems. Fundamentals of remote sensing: Interaction of the electromagnetic radiation with the Earth atmosphere - Radiative Transfer Equation - Estimate of the surface temperature - General Split Window

Technique, Atmospheric sounding. Tutorials: Software PclnWin and PCModWin. Sensors: Electro-optical sensors. Microwave systems (active and passive), Lidar. The calibration techniques. Sensors simulation tools. Tutorials: GCI Toolkit. Orbits for remote sensing: The properties of the orbits for remote sensing, constellations of satellites for remote sensing.

Part II: Methods for image processing. Atmospheric correction and radiometric correction. Image enhancement (HSV, Wavelet). Methods of change detection (MAD, PCA). Segmentation techniques and classification (supervised, unsupervised, NN, SVM). Geo-referencing techniques and image registration (Cov, Mutual Information, contours, etc.). Objects Classification (mathematical morphology). Implementation of algorithms for image processing. Extracting information from images.

Parte I: Sistemi spaziali di acquisizione. Fondamenti di telerilevamento: interazione della radiazione elettromagnetica con l'atmosfera terrestre - Equazione del trasferimento radiativo - Stima della temperatura di superficie - Tecnica Generale Split Window, Sounding atmosferico. Tutorial: Software Pcl Vinci e PCModWin. Sensori: sensori elettro-ottici. Sistemi (attivi e passivi) a microonde, Lidar. Tecniche di calibrazione. Strumenti per la simulazione di sensori. Tutorial: GCI Toolkit. Orbite di telerilevamento: proprietà delle orbite per telerilevamento, costellazioni di satelliti per telerilevamento.

Parte II: Metodi per l'elaborazione delle immagini. Correzione atmosferica e correzione radiometrica. Ottimizzazione delle immagini (HSV, Wavelet). Metodi a rilevamento delle variazioni (MAD, PCA). Tecniche di segmentazione e classificazione (supervisionate, non supervisionate, NN, SVM). Tecniche di geo-referenziazione e registrazione delle immagini (Cov, mutua informazione, contorni, ecc). Classificazione degli oggetti (morfologia matematica). Implementazione di algoritmi per l'elaborazione delle immagini. Estrazione di informazioni dalle immagini

SPACE DEBRIS

Detriti spaziali

This Course provides basic knowledge of the environment of space debris in Earth orbit , with particular regard to space debris modeling and space debris prevention. The topics presented are: Techniques for Prevention of creation of space debris, Models of current and future space debris environment, Systems of measurement and characterization of space debris, Prevention of Damage by space debris, Methods for Risk Analysis of Impact for Operational missions and risk on ground.

Il corso fornisce le conoscenze di base dell'ambiente di detriti spaziali in orbita terrestre, con particolare riferimento alla modellizzazione dei detriti spaziali. I temi presentati sono: Tecniche per prevenire la creazione di detriti spaziali, Modelli dell'ambiente attuale e futuro dei detriti spaziali, sistemi di misura e caratterizzazione dei detriti spaziali, prevenzione di danni da detriti spaziali, metodi per l'analisi del rischio di impatto per le missioni operative e dei rischi a terra.

SPACE EXPLORATION ROBOTIC SYSTEMS

Sistemi robotici per l'esplorazione spaziale

Guidance, navigation and control systems for interplanetary probes. Propulsion system for robotic probes: solar sail and electric propulsion for interplanetary missions. Rendezvous and docking for robotic probes. Movable robots for planetary exploration: Guidance, navigation and control systems for movable robots. Holonomic and nonholonomic systems. Configuration and subsystems analysis. Navigation sensors for planetary robots: active and passive vision systems. Position sensors and absolute and relative motion sensors. Path planning. Data Acquisition and conversion systems. Lander Robots: Guidance, navigation and control during the landing of a robotic vehicle. Landing on planets and asteroids. Study of the automatic descent phases. Trajectory control for soft-landing. Re-targeting for an automatic lander. Cooperative Robots: Centralized and distributed cooperative control. Modular robots. Navigation and control of multi-agent systems. Ground simulation systems for cooperative control algorithms.

Sistemi di guida, navigazione e controllo per sonde interplanetarie. Sistema di propulsione per sonde robotiche: vela solare e propulsione elettrica per missioni interplanetarie. Rendezvous e attracco per sonde robotiche. Robot semoventi per l'esplorazione planetaria: Sistemi di guida, navigazione e controllo per robot semoventi. Sistemi olonomi e anolonomi. Analisi di configurazione e sottosistemi. Sensori di navigazione per robot planetari: sistemi di visione attiva e passiva. Sensori di posizione e sensori di movimento assoluti e relativi. Pianificazione del percorso. Acquisizione dati e sistemi di conversione. Lander Robot: guida, navigazione e controllo durante l'atterraggio di un veicolo robotico. Atterraggio su pianeti e asteroidi. Studio delle fasi di discesa automatica. Controllo di traiettoria per atterraggio morbido. Re-targeting per un lander automatico. Robot Cooperativi: controllo cooperativo centralizzato e distribuito.

Robot modulari. Navigazione e controllo di sistemi multi-agente. Sistemi di simulazione a terra per algoritmi di controllo cooperativo.

SPACE MISSIONS AND GRAVITATIONAL PHYSICS

Missioni spaziali e fisica della gravitazione

After a hundred years of research , general relativity was fully recognized as an important topic in aerospace engineering : in fact a number of fundamental space applications need corrections provided by this theory . The first part of the course concerns the gravitational theory of general relativity, whereas the second part describes in depth Spatial Experiments of this theory and some of its main applications : from the experiment LARES , GRAVITY PROBE on A, B and GRAVITY PROBE LISA . An important application treated in the course is the satellite navigation (GPS , GLONASS , Galileo and COMPASS) requiring corrections provided by the general relativity .

Dopo un centinaio di anni di ricerca, la relatività generale è stata pienamente riconosciuta come un importante tema di ingegneria aerospaziale: infatti una serie di applicazioni spaziali fondamentali necessitano correzioni fornite da questa teoria. La prima parte del corso riguarda la teoria gravitazionale della relatività generale, mentre la seconda parte descrive in maniera approfondita esperimenti spaziali di questa teoria e alcune delle sue principali applicazioni: dall'esperimento LARES, Gravity Probe su A, B e Gravity Probe LISA. Un'applicazione importante trattata nel corso è la navigazione satellitare (GPS, GLONASS, Galileo e Compass) che richiedono correzioni previste dalla relatività generale.

SPACECRAFT ATTITUDE DETERMINATION AND CONTROL

Determinazione e controllo di assetto

The course aims at providing students with the tools necessary to address the study of the subsystem attitude control of a spacecraft . In particular , the main objective is to provide the elements for the definition of the control system according to the requirements of the mission. The content of the Course is the following. Review of attitude dynamics and kinematics. Elements of Control Theory and Estimation. Control systems, continuous-time and discrete time ; Sequential estimation of the state ; Estimate batch status ; Kalman filter in the presence of white and colored noise. Sensors and Actuators: Sun and Earth sensors, Star sensors. Gyroscopes and magnetometers ; Characterization of the noise of the sensors ; Wheels of inertia ; Reaction wheels ; Jet engines ; Magnetic actuators (magnetorquer) . Control Moment Gyro (CMG) . Characterization of disorders of the actuators. Methods for attitude determination: Deterministic methods ; Statistical method ; Estimation methods based on quaternion and Rodrigues parameters; Techniques of data fusion. Technical digital multi-rate. Attitude Control Subsystem: attitude control architectures; Techniques to control linear and nonlinear systems ; Analysis of the closed loop system , Sensors and Actuators modeling. Characterization of the disturbance torques of the space environment . Notes on Control of Flexible Space Vehicles, Problem of spillover in the control system ; Attitude control and vibration .

Il corso si propone di fornire agli studenti gli strumenti necessari per affrontare lo studio del sottosistema di controllo di assetto di un veicolo spaziale. In particolare, l'obiettivo principale è quello di fornire gli elementi per la definizione del sistema di controllo secondo i requisiti della missione. Il contenuto del corso è il seguente. Rassegna di dinamiche e cinematiche di assetto. Elementi di Teoria del controllo e della stima. Sistemi di controllo, a tempo continuo e tempo discreto; Stima sequenziale dello Stato; Filtro di Kalman in presenza di rumore bianco e colorato. Sensori e attuatori: sensori di Sole, di Terra e stellari. Giroscopi e magnetometri; Caratterizzazione del rumore dei sensori; Ruote di inerzia; Ruote di reazione; motori a reazione; Attuatori magnetici. Giroscopi a Controllo di Momento (CMG). Caratterizzazione dei problemi degli attuatori. Metodi per la determinazione di assetto: metodi deterministici; Metodo statistico; Metodi di stima basati su quaternioni e parametri di Rodrigues; Tecniche di data fusion. Tecniche digitali multi-rate. Controllo del sistema di Assetto: architetture di controllori di assetto; Tecniche per il controllo dei sistemi lineari e non lineari; Analisi del sistema ad anello chiuso, modellizzazione di Sensori e Attuatori. Caratterizzazione delle coppie di disturbo nell'ambiente spaziale. Cenni sul controllo dei Veicoli Spaziali flessibili, Problema di spillover nel sistema di controllo; Controllo dell'assetto e vibrazioni.

FORMATION FLYING

Volo in formazione

Introduction (current and future missions involving formation flying). Linear circular keplerian case (Hill-Clohessy-Wiltshire equations, curvilinear vs Cartesian coordinates; periodicity). Linear elliptic keplerian case (Tschauner-Hempel, Melton, Yamanaka equations; periodicity). Mission to a comet with highly elliptic orbit and residual gravitational field. Linear circular perturbed case (J2 effect and special inclinations, drag effect, advanced linear models). Nonlinear dynamics (Newton approach, Lagrange approach, energy matching). Relative motions in terms of differential orbital elements. Relative attitude dynamics. Formation flying control (LQR, discrete LQR, PWM,

impulsive, artificial potential). Formation flying navigation (RF, GPS, laser ranging, visual navigation). A case of formation flying: remote sensing missions. Orbital configuration. Lazy and tight formations. Rendezvous. The phases of a rendezvous mission. Approach safety and collision avoidance. The drivers for the approach strategy (location and direction of target capture, range of sensors, Sun illumination, communication windows). Docking. Mating systems. Special features of the GNC system for rendezvous and docking (mode sequencing and equipment engagement, fault identification and recovery concepts, remote interaction with the automatic system, automatic GNC system with man-in-the-loop). Special cases of formation flying. Tethered formations and space webs. Swarms of spacecraft.

Introduzione: missioni attuali e future che sfruttano il volo in formazione. Caso kepleriano lineare circolare (equazioni di Hill-Clohessy-Wiltshire, coordinate curvilinee vs cartesiane; periodicità). Caso kepleriano lineare ellittico (Tschauner-Hempel, Melton, equazioni di Yamanaka, periodicità). Missione su una cometa con un'orbita fortemente eccentrica e campo gravitazionale residuo. Caso circolare lineare perturbato (effetto di J_2 e inclinazioni speciali, effetti del drag, modelli lineari avanzati). Dinamica non lineare (approccio di Newton, approccio di Lagrange, matching energetico). Moto relativo in termini di elementi orbitali differenziali. Dinamica di assetto relativo. Controllo del volo in formazione (LQR, LQR discreto, PWM, impulsivo, potenziale artificiale). Navigazione nel volo in formazione (RF, GPS, laser ranging, navigazione per immagini). Applicazioni del volo in formazione: le missioni di telerilevamento. Configurazioni orbitali. Formazioni lasche e formazioni ravvicinate. Rendezvous. Le fasi di una missione di rendezvous. Approcci per la sicurezza e per evitare collisioni. I driver per una strategia di avvicinamento (posizionamento e direzione di cattura del target, range dei sensori, illuminazione solare, finestre di comunicazione). Attracco. Sistemi di accoppiamento. Particolarità del sistema GNC per rendezvous e docking (sequenza dei modi e impegno delle attrezzature, identificazione dei guasti e concetti di recupero, interazione a distanza con il sistema automatico, sistema automatico GNC con man-in-the-loop). Casi particolari di volo in formazione. Formazioni tethered e reti spaziali. Sciami di veicoli spaziali.

THERMOMECHANICAL INTERACTIONS IN SPACE VEHICLES

Interazioni termomeccaniche nei veicoli spaziali

General introduction to the interaction problems in space; historical review. Weak and full interaction and related description. One-way static and dynamic coupling, key parameters governing the phenomenon; examples. Two-way static and dynamic coupling; integrated modeling of the space systems; examples. Thermal flutter and divergence; numerical approach to the solution. Review of some remarkable occurrences of thermally induced disturbances onboard of satellites; physical and mathematical description. Fundamentals of thermo acoustics.

Introduzione generale ai problemi di interazione nello spazio; rassegna storica. Weak e full interaction e relativa descrizione. Accoppiamento statico e dinamico a senso unico, parametri fondamentali che disciplinano il fenomeno; esempi. Accoppiamento Bidirezionale statico e dinamico ; modellizzazione integrata dei sistemi spaziali; esempi. Flutter termico e divergenza; approccio numerico alla soluzione. Rassegna di episodi notevoli di disturbi indotti termicamente a bordo di satelliti; descrizione fisica e matematica. Fondamenti di termo acustica.

Tabella per la comparazione tra gli insegnamenti

Vengono riportati gli insegnamenti proposti e il confronto con le materie presenti all'Art.3 del vecchio statuto della Scuola nonché il confronto tra i vecchi e i nuovi raggruppamenti scientifici (SSD) nei quali i corsi ricadono.

C'è da notare che i raggruppamenti sono stati nel frattempo rimodulati dal Ministero e talvolta raggruppati in meta-categorie e che non esiste più la titolarità delle cattedre. Pertanto l'equipollenza non è in alcuni casi perfetta ma è sempre coerente.

Corso Proposto	SSD	Equivalente V.O.	SSD
Tecnologie Spaziali	ING-IND04	Tecnologie delle costruzioni spaziali	I02B
Teoria del controllo per applicazioni spaziali	ING-INF-04	Robotica	K05A
Progetto di sistemi elettronici per lo spazio	ING-INF01	Elettronica	K01X
Sistemi spaziali duali	ING-INF05	Sistemi aerospaziali	I02C
Teoria dei giochi nella meccanica del volo	ING-INF03	Meccanica del Volo	I02A
Effetti dell'ambiente spaziale nei dispositivi elettronici	ING-INF01	Dispositivi elettronici	K01X
Sistemi di potenza per applicazioni spaziali	ING-INF01	Dispositivi elettronici	K01X
Compatibilità elettromagnetica per dispositivi astronautici	ING-IND31	Compatibilità elettromagnetica	K02X
Fondamenti di ingegneria nucleare per l'aeronautica	ING-IND11	Propulsori astronautici /sistemi spaziali	I04A/ I02C
Propulsione ibrida e nuovi sistemi di lancio	ING-IND07	Sistemi di propulsione missilistica	I04A
Volo ipersonico e rientro	ING-IND06	Dinamica dei gas rarefatti	I03X
Diritto Aerospaziale	IUS-13	Diritto aerospaziale	N06X
Sistemi di supporto alla vita per l'esplorazione aerospaziale	ING-IND11	Sistemi di supporto alla vita	I26A
Navigazione	ING-IND05	Navigazione aerea	I02C
Modelli numerici per le strutture spaziali	ING-IND04	Progettazione di strutture spaziali	I02B
Metodi di ottimizzazione nella meccanica orbitale	ING-IND03	Meccanica del volo spaziale	I02A
Determinazione orbitale	ING-IND03	Dinamica del volo spaziale	I02A
Telemetria radar per l'aeronautica	ING-INF 03	Elaborazione elettronica di segnali e immagini	K01X
Sistemi aerospaziali di telerilevamento	ING-INF05	Sistemi aerospaziali di telerilevamento	I02C

Corso Proposto	SSD	Equivalente V.O.	SSD
Detriti spaziali	ING-IND5	Astrodinamica dei sistemi aerospaziali	I02C
Missioni spaziali e fisica della gravitazione	FIS-01	Fisica della gravitazione	B05X
Determinazione e controllo di assetto di satelliti	ING-IND05	Sistemi aerospaziali	I02C
Volo in formazione	ING-IND05	Astrodinamica dei sistemi aerospaziali	I02C
Interazioni termo meccaniche nei veicoli spaziali	ING-IND05	Sistemi di controllo termico aerospaziale	I02C
Controllo avanzato dei veicoli	ING-INF04	Robotica	K05A