

Corso di Laurea specialistica in Ingegneria Aerospaziale e astronautica
(Classe delle Lauree specialistiche in Ingegneria Aerospaziale e astronautica, Classe n. 25/S)

Il corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Aerospaziale e astronautica si propone di fornire agli allievi una conoscenza approfondita degli aspetti teorico-scientifici dell'ingegneria, per metterli in grado di identificare, formulare e risolvere, anche in modo innovativo, problemi complessi o che richiedano un approccio interdisciplinare nel campo dell'ingegneria industriale in generale e di quella aerospaziale in particolare. Ulteriori obiettivi formativi riguardano la capacità di ideare, pianificare, progettare e gestire sistemi, processi e servizi complessi e/o innovativi e di progettare e gestire esperimenti di elevata complessità nel campo dell'ingegneria aerospaziale.

Filoni culturali specifici sono la fluidodinamica, la meccanica del volo, le costruzioni, le strutture e le tecnologie aerospaziali, gli impianti e i sistemi aeronautici e spaziali, la propulsione aerea e spaziale.

Gli ambiti professionali tipici per i laureati specialisti in Ingegneria Aerospaziale e astronautica sono quelli dell'innovazione e dello sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di sistemi complessi, sia nella libera professione, sia nelle imprese manifatturiere, o di servizi, che nelle amministrazioni pubbliche. I laureati specialisti potranno trovare occupazione presso industrie aeronautiche e spaziali; enti pubblici e privati ed aziende per la sperimentazione e la ricerca applicata in campo aerospaziale e per l'utilizzo a fini applicativi dei sistemi aerospaziali; aziende di trasporto aereo; enti per la regolamentazione e la gestione del traffico aereo e per la certificazione degli aeromobili; aeronautica militare e settori aeronautici di altre armi; enti per la ricerca e lo sviluppo ed aziende per la produzione e l'esercizio di macchine, impianti e apparecchiature dove sono rilevanti la fluidodinamica, le strutture leggere, la capacità di modellazione avanzata, il controllo dei sistemi, le tecnologie avanzate. In generale, il laureato specialista in Ingegneria Aerospaziale e astronautica, pur focalizzato su un particolare profilo professionale, sarà in grado di seguire la mobilità e la variabilità del mercato del lavoro e le continue innovazioni tecnologiche e gestionali, che, giova sottolineare, proprio nel settore aerospaziale sono particolarmente forti.

Curriculum

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico-disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Propedeuticità
Primo Anno – Primo Semestre					
Analisi matematica III	Analisi matematica III	MAT/05	6	a	Analisi matematica II
Gasdinamica II	Gasdinamica II	ING-IND/06	9	b	Gasdinamica I
Fluidodinamica numerica I	Fluidodinamica numerica I	ING-IND/06	6	b	Elementi di informatica Termofluidodinamica
Meccanica applicata	Meccanica applicata	ING-IND/13	9	c	Fisica matematica
Primo Anno – Secondo Semestre					
Aerodinamica degli aeromobili	Aerodinamica degli aeromobili	ING-IND/06	9	b	Aerodinamica
Costruzioni aeronautiche avanzate	Costruzioni aeronautiche avanzate	ING-IND/04	6	b	Costruzioni aeronautiche I
Propulsione aerospaziale II	Propulsione aerospaziale II	ING-IND/07	6	b	Propulsione aerospaziale I
Sistemi aerospaziali I	Sistemi aerospaziali I	ING-IND/05	6	b	Impianti aerospaziali II
Insegnamento curriculare	Modulo curriculare		6	b/c	
Secondo Anno – Primo Semestre					
Sistemi aerospaziali II	Sistemi aerospaziali II	ING-IND/05	6	b	Impianti aerospaziali II
Progetto generale di velivoli	Progetto generale di velivoli	ING-IND/03	9	b	Aerodinamica degli aeromobili
Strutture aerospaziali avanzate	Strutture aerospaziali avanzate	ING-IND/04	9	b	Costruzioni aeronautiche avanzate

Secondo Anno – Secondo Semestre					
Insegnamenti curriculare	Moduli curriculare		12	b/c	
	A scelta autonoma dello studente		6	d	
	Ulteriori conoscenze		6	f	
	Prova finale		9	e	

(#) Ai sensi dell'Art. 10 comma 1 del D.M. n. 509 del 03/11/1999: a = di base; b = caratterizzanti; c = affini o integrative; d = a scelta autonoma dello studente; e = prova finale e lingua straniera; f = ulteriori conoscenze.

Curriculum A

Insegnamento	Modulo	SSD	CFU	(#)	Propedeuticità'
Affidabilità e manutenzione e	Affidabilità e manutenzione	SECS-S/02	6	c	Probabilità
Complementi di meccanica del volo	Complementi di meccanica del volo	ING-IND/03	3	b	Manovre e Stabilità Statica Aerodinamica degli aeromobili
Dinamica del volo	Dinamica del volo	ING-IND/03	3	b	Manovre e stabilità statica Aerodinamica degli aeromobili
Dinamica delle strutture ed aeroelasticità	Dinamica delle strutture ed aeroelasticità	ING-IND/04	9	b	Costruzioni aeronautiche avanzate
Fondamenti chimici delle tecnologie	Fondamenti chimici delle tecnologie	CHIM/07	6	c	Tecnologie dei materiali aerospaziali
Metodi di progettazione strutturale	Metodi di progettazione strutturale	ING-IND/04	3	b	Costruzioni aeronautiche avanzate
Sperimentazione delle strutture II	Sperimentazione delle strutture II	ING-IND/04	3	b	Costruzioni aeronautiche avanzate
Sperimentazione di volo	Sperimentazione di volo	ING-IND/03	3	b	Aerodinamica degli aeromobili
Stabilità delle strutture	Stabilità delle strutture	ING-IND/04	6	b	Costruzioni aeronautiche avanzate
Stabilità dinamica e qualità di volo e	Stabilità dinamica e qualità di volo	ING-IND/03	3	b	Manovre e stabilità statica Aerodinamica degli aeromobili

Curriculum B

Aerodinamica del rotore	Aerodinamica del rotore	ING-IND/06	6	b	Aerodinamica degli aeromobili
Aerodinamica ipersonica	Aerodinamica ipersonica	ING-IND/06	6	b	Gasdinamica I
Aerodinamica sperimentale II	Aerodinamica sperimentale II	ING-IND/06	6	b	Aerodinamica sperimentale I
Combustione	Combustione	ING-IND/25	6	c	Chimica
Endoreattori	Endoreattori	ING-IND/07	3	b	Propulsione aerospaziale II
Fluidodinamica	Fluidodinamica	ING-IND/06	6	b	Gasdinamica I
Fluidodinamica numerica II	Fluidodinamica numerica II	ING-IND/06	6	b	Fluidodinamica numerica I
Fondamenti chimici delle tecnologie	Fondamenti chimici delle tecnologie	CHIM/07	6	c	Tecnologie dei materiali aerospaziali
Sperimentazione fluidodinamica	Sperimentazione fluidodinamica	ING-IND/06	6	b	Gasdinamica I Elettrotecnica
Sperimentazione spaziale	Sperimentazione spaziale	ING-IND/06	6	b	Gasdinamica I
Stabilità fluidodinamica	Stabilità fluidodinamica	ING-IND/06	6	b	Gasdinamica I
Turbolenza	Turbolenza	ING-IND/06	3	b	Gasdinamica I

Curriculum C

Aerodinamica ipersonica	Aerodinamica ipersonica	ING-IND/06	6	b	Gasdinamica I
Affidabilita' e manutenzione	Affidabilita' e manutenzione	SECS-S/02	6	c	Probabilita'
Costruzioni e strutture spaziali	Costruzioni e strutture spaziali	ING-IND/04	6	b	Costruzioni aeronautiche avanzate
Endoreattori	Endoreattori	ING-IND/07	3	b	Propulsione aerospaziale II
Fondamenti chimici delle tecnologie	Fondamenti chimici delle tecnologie	CHIM/07	6	c	Tecnologie dei materiali aerospaziali
Sistemi aerospaziali III	Sistemi aerospaziali III	ING-IND/05	6	b	Sistemi aerospaziali II
Sistemi aerospaziali di telerilevamento	Sistemi aerospaziali di telerilevamento	ING-IND/05	6	b	Impianti aerospaziali II
Sperimentazione spaziale	Sperimentazione spaziale	ING-IND/06	6	b	Gasdinamica I

Attività formative del Corso di Laurea specialistica in Ingegneria Aerospaziale e astronautica.

Insegnamento: Aerodinamica ipersonica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Aerodinamica ipersonica	ING-IND/06	b	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 100
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 20	Ore impegno studente: 30
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 10
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 10

Obiettivi formativi:

Introdurre la problematica del rientro e delle correnti ad alta velocità; spiegare i principi fisici dell'Aerodinamica degli alti numeri di Mach e l'evoluzione del gas in cui avvengono reazioni chimiche; spiegare le semplificazioni derivanti dall'applicabilità della teoria dei piccoli disturbi nella soluzione dei campi ipersonici; generalizzare le equazioni del bilancio e quelle di strato limite per tenere conto della presenza di reazioni chimiche e diffusione di specie chimiche. Introdurre l'aerodinamica dei mezzi discreti e descrizione della fenomenologia dei regimi di molecole libere e di transizione. Ampio spazio è dato alle esercitazioni numeriche che costituiscono l'estensione e il completamento della teoria stessa. Le esercitazioni di laboratorio consisteranno nella misura di flussi di calore e di forze aerodinamiche che possono insorgere su di una capsula spaziale in fase di rientro. Queste esercitazioni saranno svolte nella galleria SPES (Small Planetary Entry Simulator) del Dipartimento di Scienza e ingegneria dello spazio "Luigi G. Napolitano".

Contenuti:

Problematica ipersonica. Rientro. Aerotermochimica: modello di Lighthill e modello di Monti-Napolitano. Richiami sulle onde d'urto, equazioni fondamentali, calcolo dell'angolo d'urto (metodo di Newton-Raphson) e valutazione della zona di rilassamento chimico a valle di onde d'urto normali. Risoluzione del campo ipersonico e implementazione numerica del metodo delle caratteristiche per campi non omentropici e campi non isoentropici: metodo del "Predictor-Corrector" di Eulero. Teoria dei piccoli disturbi, principio di equivalenza di Hayes e sua applicazione. Teorie approssimate e paragone dei risultati. Campo di moto intorno al cono, campo conico, equazioni di Taylor a Maccoll e tecnica dei valori ai limiti. Strato limite ipersonico: soluzioni simili e "shooting technique". Interazione viscosa. Valutazione sperimentale degli effetti della cataliticità sul flusso di calore. Regimi di moto in mezzi rarefatti: regime di molecole libere e teoria di Maxwell, regime di transizione e metodo del DSMC (Direct Simulation Monte Carlo). Gallerie ipersoniche.

Propedeuticità: Gasdinamica I.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Aerodinamica degli aeromobili

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Aerodinamica degli aeromobili	ING-IND/06	b	I	9

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 65	Ore impegno studente: 187
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 30
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 2	Ore impegno studente: 4
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 4	Ore impegno studente: 4

Obiettivi formativi:

Studio dei fenomeni aerodinamici che intervengono nelle diverse condizioni di volo di un aeromobile, modelli fisico-matematici e relativi metodi di soluzione.

Contenuti.

Le singolarità idrodinamiche distribuite, singolarità supersoniche. Il carico aerodinamico, relazione con la vorticità, numeri di Mach critici inferiore e superiore. Modelli basati sulle equazioni di Navier-Stokes, lo strato limite, il flusso Euleriano, il flusso a potenziale (completo e per piccoli disturbi), il modello di Prandtl-Glauert, il flusso retto dall'equazione di Laplace, condizione di Kutta. Meccanica dei flussi viscosi sui componenti di un aeromobile: flussi laminari, turbolenti, transizionali, separati bi- e tridimensionali, la stabilità dello strato limite laminare, l'equazione di Von Karman in campo bidimensionale, parametri integrali di strato limite, effetti della comprimibilità in campo lineare e non. Metodi di strato limite, diretti e inversi. Il flusso ideale bidimensionale, il metodo delle perturbazioni asintotiche (forze di spinta, coefficienti aerodinamici, equivalenza con la teoria di Glauert, linea media dei profili laminari, proprietà del punto neutro

posteriore, metodo NACA, effetto di spessore, curvatura ed angolo di attacco), soluzioni esatte (formulazione del problema, conseguenza delle Identità di Green, metodi alle singolarità, il metodo Douglas – Neumann, metodi a vortici). Analisi dell'effetto suolo. Il flusso ideale tridimensionale incomprimibile, il modello di Prandtl, prodromi del metodo di Multhopp, effetti di allungamento, rastremazione e svergolamento. Ala a freccia, il modello di Weissenger. L'effetto diedro. Ali di basso allungamento, il bordo d'attacco subsonico e/o supersonico, teoria di Jones per l'ala a delta, metodi a pannelli in campo tridimensionale. Effetti della comprimibilità in campo lineare e non. Funzionamento di un profilo alare al variare di geometria, assetto, condizioni superficiali, numeri di Mach e Reynolds, lo stallo, curve di portanza, polari, tipologia dei profili (convenzionali, laminari, shockless, supercritici), ipersostentazione, metodi viscosi per profili alari. Funzionamento dell'ala e del velivolo al variare dei parametri geometrici, della configurazione, dei numeri di Mach e Reynolds, polari, stallo dell'ala, ala a freccia, ala a delta, regola delle aree in campo transonico e supersonico. Decomposizione della resistenza di un aeromobile, interferenza aerodinamica, metodo empirico per la stima della polare di un velivolo. Formazione e accrescimento del ghiaccio sulle superfici dei velivoli. Aerodinamica della propulsione: generalità e funzionamento dell'elica, teoria impulsiva semplice, richiami sulle prese d'aria. Applicazioni di aerodinamica numerica.

Propedeuticità: Aerodinamica.

Prerequisiti: Analisi matematica III, Gasdinamica II, Fluidodinamica numerica I.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Aerodinamica del rotore

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Aerodinamica del rotore	ING-IND/06	b	I-II	6

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 50 **Ore impegno studente:** 150

Modalità di insegnamento: Esercitazione **Ore impegno docente:** 10 **Ore impegno studente:** 20

Obiettivi formativi:

Fornire gli strumenti fondamentali per l'analisi e la progettazione aerodinamica di ali rotanti, in particolare eliche, rotori di elicotteri e turbine eoliche.

Contenuti.

Aerodinamica dell'elica. Il modello di disco attuatore per l'elica, richiami della teoria impulsiva semplice e della teoria dell'elemento di pala semplice. Teoria impulsiva generale e distribuzioni di carico ottime. Il sistema vorticoso dell'elica, teoria generale dell'elemento di pala, regimi di funzionamento dell'elica. Forma ottima della pala, effetto del numero di pale finito, progetto dell'elica. Eliche intubate, effetto della geometria della carenatura. Le teorie impulsive in regime comprimibile, un modello numerico di disco attuatore in regime comprimibile.

Aerodinamica del rotore. Teoria impulsiva per il rotore in hovering, teoria dell'elemento di pala per il rotore in hovering, rotore ideale e ottimo, rotore reale, cifra di merito. Autorotazione, curve di funzionamento in salita e discesa assiale. Effetto suolo in hovering. Il rotore rigido in volo traslato, teoria impulsiva per eliche in flusso non assiale, potenza parassita in volo traslato, stima della potenza necessaria al volo traslato. Effetto suolo in volo traslato.

Aerodinamica del rotore articolato. Passo ciclico e collettivo, dinamica della pala, le forze aerodinamiche sul rotore, calcolo dei coefficienti di flappeggio, prestazioni del rotore. Stallo statico e dinamico.

Aerodinamica degli aeromotori. Aeromotori ad asse orizzontale, formula di Betz. Coppia e potenza ottime, forma ottima della pala di un aeromotore ad asse orizzontale. Concentratori di vento, alette di estremità. Aeromotori ad asse verticale, turbine ad azione differenziale, turbine Darrieus.

Propedeuticità: Aerodinamica degli aeromobili.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Aerodinamica sperimentale II

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Aerodinamica sperimentale II	ING-IND/06	b	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 50 **Ore impegno studente:** 150

Obiettivi formativi:

Fornire la conoscenza delle potenzialità e dei limiti dell'impiego delle gallerie del vento nella progettazione aerodinamica. Fornire i criteri di progettazione di massima delle gallerie.

Contenuti:

Teoria dei modelli, leggi di similitudine, analisi degli ordini di grandezza. Metodi di correzione degli effetti di parete: metodo delle immagini, metodi con misure al contorno; pareti adattative e attive. Tipologia e componenti di gallerie subsoniche (convenzionali, pressurizzate, per autoveicoli, per la formazione di ghiaccio ecc...), transoniche (a pareti perforate o fessurate, criogeniche), supersoniche (continue e intermittenti), ipersoniche (aerodinamiche e ad alta entalpia). Tubo d'urto, galleria ad urto e tubo di Ludwig. Lanciatori iperveloci. Misura delle forze aerodinamiche da rilievi di pressione e con bilance; bilance magnetiche. Analogie idraulica, reoelettrica e di Hele-Shaw.

Propedeuticità: Aerodinamica sperimentale I.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento Affidabilità e manutenzione

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Affidabilità e manutenzione	SECS-S/02	c	I-II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 35 Ore impegno studente: 105			
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 15 Ore impegno studente: 30			
Modalità di insegnamento: Seminari	Ore impegno docente: 10 Ore impegno studente: 15			

Obiettivi formativi:

Capacità di valutare i rischi di guasto di unità e sistemi tecnologici (riparabili e non) sia in fase di progetto che di gestione degli stessi. Verifiche di affidabilità e collaudi di durata. Valutazione dell'affidabilità di sistemi complessi. Scelta della politica di manutenzione e valutazione del costo per ciclo di vita di unità tecnologiche.

Contenuti:

Affidabilità e analisi economica dei guasti. Funzione affidabilità e sue proprietà. Vita media (MTTF). Modelli di affidabilità: Esponenziale, Weibull, Gamma e Lognormale. Carte di probabilità. Guasti per deriva e per sollecitazione eccessiva. Affidabilità di sistemi non riparabili: sistemi serie, parallelo, stand by. Sistemi di protezione e sicurezza. Alberi dei guasti. Affidabilità di unità riparabili. Disponibilità e manutenibilità. Teoria del rinnovo. Politiche di manutenzione. Modelli previsionali di costo per ciclo di vita.

Propedeuticità: Probabilità.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova scritta personalizzata e successiva discussione orale incentrata sulla stessa.

Insegnamento: Analisi matematica III

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Analisi matematica III	MAT/05	a	I	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 30 Ore impegno studente: 106			
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 22 Ore impegno studente: 44			

Obiettivi formativi:

Acquisizione e consapevolezza operativa dei concetti e dei risultati fondamentali, in vista delle principali applicazioni, relativi alle equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali, all'analisi complessa e all'analisi di Fourier.

Contenuti:

Richiami sulla sviluppabilità in serie di Taylor di funzioni reali. Funzioni elementari nel campo complesso, serie di potenze. Funzioni analitiche. Integrali di linea di funzioni di variabile complessa. Sviluppo in serie di Taylor. Sviluppo in serie di Laurent. Residui e applicazioni al calcolo di integrali. Cenni sulla misura e sull'integrazione secondo Lebesgue.

Serie di Fourier; convergenza puntuale e convergenza in media quadratica. Trasformata di Fourier: definizione e proprietà formali; antitrasformata. Trasformata di Laplace: definizione; esempi notevoli di trasformata di Laplace; proprietà formali; antitrasformata; uso della trasformata di Laplace nei modelli differenziali lineari. Problemi ai limiti per equazioni differenziali omogenee e non. Equazioni differenziali e sistemi di equazioni differenziali ordinarie. Equazioni differenziali alle derivate parziali: equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine e il metodo delle caratteristiche; equazione di Laplace; equazione del calore; equazioni delle onde. Elementi di calcolo delle variazioni.

Propedeuticità: Analisi matematica II.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prove applicative in itinere e/o prova finale; colloquio.

Insegnamento: Combustione

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Combustione	ING-IND/25	c	II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 8	Ore impegno studente: 24		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 4	Ore impegno studente: 4		
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 2	Ore impegno studente: 2		

Obiettivi formativi:

Il corso si propone di fornire gli strumenti metodologici e le conoscenze per inquadrare i processi di combustione alla fiamma ed i meccanismi ad essi associati di formazione di specie inquinanti.

Contenuti:

Teoria della combustione. Analisi dettagliata dei processi e delle strutture delle fiamme premiscelate in condizioni laminari quiescenti, stirate e turbolente. Introduzione alla dinamica dei mezzi reattivi turbolenti.

Combustione e formazione di inquinanti. Tipizzazione degli inquinanti: macro inquinanti (NO_x , SO_x , HCl, particolato), micro inquinanti (IPA, PCB, diossine, furani, metalli pesanti), gas-serra (CO_2 , N_2O). Cenni ai meccanismi e alle condizioni che promuovono la formazione di specie inquinanti. Diagnostica delle specie minoritarie in fase di formazione.

Prevenzione della formazione di inquinanti in sistemi di combustione. Individuazione delle opzioni che, in sede progettuale e/o di esercizio, consentono la prevenzione della formazione di inquinanti: combustione a stadi, re-burning, combustione ad alto livello di diluizione, rimozione in situ di specie minoritarie inquinanti, combustione catalitica.

Tecnologie di combustione. Rassegna delle tecnologie di combustione avanzate, riferite a combustibili tradizionali e innovativi (rifiuti e scarti di lavorazione, biocombustibili, gas di sintesi, idrogeno).

Propedeuticità: Chimica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Complementi di Meccanica del Volo

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Complementi di Meccanica del Volo	ING-IND/03	b	II	3
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 27	Ore impegno studente: 54		
Modalità di insegnamento: Esercitazioni	Ore impegno docente: 13	Ore impegno studente: 26		

Obiettivi formativi:

Fornire agli allievi le conoscenze, sia teoriche che applicative, necessarie per calcolare i parametri delle orbite chiuse e aperte delle missioni spaziali, dal lancio al rientro.

Contenuti:

Richiami di Meccanica razionale e di Geometria analitica. Riferimenti tipo, coordinate spaziali e coordinate astronomiche. Terne inerziali e moti relativi. Meccanica terrestre. Attrazione gravitazionale. Potenziale ed energia potenziale. Lavoro ed energia cinetica. Forze centrali e moti sotto l'azione di forze centrali. Equazioni differenziali del

moto. Le velocità astronomiche. Le leggi di Keplero. Equazioni delle coniche. Coniche omofocali. Lanci sotto le diverse ipotesi. Orbite di trasferimento e di parcheggio.

Propedeuticità: Meccanica razionale – Geometria analitica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Costruzioni aeronautiche avanzate

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Costruzioni aeronautiche avanzate	ING-IND/04	b	I	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 42	Ore impegno studente: 125		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 20		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 3	Ore impegno studente: 3		
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 2	Ore impegno studente: 2		

Obiettivi formativi:

Completare le conoscenze relativamente al progetto strutturale e inquadrare i problemi applicativi in un contesto avanzato con particolare riferimento alla scelta dei materiali metallici e/o delle strutture in composito avanzato. Particolare riferimento va fatto ai criteri di progettazione col composito avanzato nell'ambito delle strutture aerospaziali. Vengono anche presi in considerazione i problemi inerenti la fatica e il crash delle strutture aerospaziali.

Contenuti:

Scelta dei materiali metallici - I materiali metallici maggiormente impiegati, leghe di alluminio, leghe di titanio, acciai, altri materiali metallici, parametri di qualità, caso della trave inflessa, della trave caricata di punta, del pannello compresso e della trave soggetta a sforzo normale, decadimento delle proprietà meccaniche con la temperatura. Compositi – Definizione, scelta, progetto e verifica delle strutture in composito, cos'è un composito?, le fibre, la matrice, l'interfaccia, laminati costituiti con fibre anche sottoforma di tessuti, caratteristiche meccaniche, tipi di rottura dei compositi, comportamento sotto carico, definizione delle strutture sandwich, nidi d'ape e soluzioni alternative, individuazione delle tipologie aeronautiche in composito, il preimpregnato, il laminato, il sandwich, metodi di assemblaggio, inquadramento e sviluppo del contesto teorico, teorie sui compositi, teoria della laminazione, la lamina, rottura della lamina a trazione, compressione e taglio, trasformazione del piano della lamina, il laminato, il composito e i modelli matematici della lamina e del laminato, l'influenza della temperatura e dell'umidità sulla resina polimerica, assorbimento di calore e umidità, leggi di Fick, tensioni connesse all'assorbimento di calore e umidità, criteri di resistenza, teoria delle tensioni massime e delle deformazioni massime, i criteri di tsai-hill e tsai-wu, contesto sperimentale e analitico, qualificazione e certificazione, descrizione di alcuni tipi di prove, prove su particolari e parti principali e prove statiche, determinazione sperimentale dei coefficienti della teoria di tsai-wu, campagna di prova necessarie per la determinazione delle proprietà meccaniche e delle tensioni ammissibili, curve di progetto carpet e AML, crisi elastiche di pannelli e lamine in composito, problemi connessi con i colpi di fulmine. Il progetto e la fatica – Vita a fatica, diagramma S-N, regola di Palmgren-Miner, spettri di carico, calcolo della vita a fatica, regolamenti e la fatica, criteri fail-safe e tollerabilità del danno, elementi di meccanica della frattura, danno da impatto dei compositi. Cenni sul crash.

Propedeuticità: Costruzioni aeronautiche I.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Esercitazioni e colloquio.

Insegnamento: Costruzioni e strutture spaziali

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Costruzioni e strutture spaziali	ING-IND/04	b	II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 50	Ore impegno studente: 120		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 25		
Modalità di insegnamento: Prova intracorso	Ore impegno docente: 2	Ore impegno studente: 5		

Obiettivi formativi:

Il corso fornisce gli elementi per il progetto delle strutture spaziali. Sono introdotti i metodi per l'analisi dei carichi e forniti i metodi per il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali del veicolo spaziale. Sono presentati i concetti applicativi e le procedure di calcolo legate al metodo degli elementi finiti completando le conoscenze di analisi statica e presentando le metodologie fondamentali per l'analisi dinamica delle strutture spaziali.

Contenuti:

Analisi dei carichi: carichi a terra, al lancio e in orbita. Carichi limiti, carichi ultimi, fattori di sicurezza e margini di sicurezza. Criteri di dimensionamento e verifica nelle sollecitazioni di flessione, taglio, sforzo normale e torsione per le strutture a parete sottile. Materiali metallici e compositi. Effetti termici. Strutture di grande allungamento ed allungabili. Tipologia delle strutture spaziali. Il calcolo delle matrici strutturali di rigidezza, massa e smorzamento per classe di elementi e assemblaggio strutturale. Il calcolo degli autovalori e degli autovettori. La risposta dinamica delle strutture semplici. Introduzione alle vibrazioni random delle strutture. I concetti di base della termoelasticità e del controllo delle vibrazioni.

Propedeuticità: Costruzioni aeronautiche avanzate.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova intracorso. Prova finale orale con discussione di un elaborato scritto preparato durante il corso.

Insegnamento: Dinamica del volo

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Dinamica del volo	ING-IND/03	b	I-II	3
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 18 Ore impegno studente: 53			
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 8 Ore impegno studente: 22			

Obiettivi formativi:

Fornire all'allievo gli elementi per effettuare la predizione del moto del velivolo anche in regime non lineare e dei carichi sul velivolo conseguenti sia alle azioni del pilota sia a perturbazioni esterne, quali, a esempio, la raffica discreta e continua.

Contenuti:

Terne di riferimento, derivazione delle equazioni del moto, equilibrio dinamico del velivolo e moto di regime iniziale. Analisi e calcolo dei carichi di manovra. Analisi completa della virata, del rollio rapido e della vite. Carichi e risposta del velivolo in aria turbolenta.

Propedeuticità: Aerodinamica degli aeromobili, Manovre e stabilità statica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio.

Insegnamento: Dinamica delle strutture e aeroelasticità

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Dinamica delle strutture e aeroelasticità	ING-IND/04	b	II	9
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 55 Ore impegno studente: 165			
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 20 Ore impegno studente: 40			
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 10 Ore impegno studente: 14			
Modalità di insegnamento: Prova intracorso	Ore impegno docente: 6 Ore impegno studente: 6			

Obiettivi formativi:

Si vuole consentire allo studente di approfondire i principali concetti di meccanica delle vibrazioni e di aerodinamica instazionaria, in modo che sia in grado di analizzare l'accoppiamento aeroelastico, sia sperimentalmente sia numericamente. Inoltre, verranno introdotti concetti di base per l'analisi dei fenomeni vibroacustici. Il corso si propone

integrata e completa quanto analizzato nei corsi della laurea. La parte risolutiva viene affrontata con metodi sia deterministici sia statistici, evidenziando a ogni passo il legame con le difficoltà oppure i vantaggi derivanti dall'utilizzo di informazioni di laboratorio. I livelli di accoppiamento aeroelastico e vibroacustico sono esaminati in dettaglio e sono presentate le inevitabili ricadute in termini computazionali e predittivi. Notevole importanza rivestono le ore di esercitazione e di laboratorio. In esse, infatti, sono sviluppati in modo completo, argomenti classici della materia quali valutazione della velocità di flutter per un profilo, misure di impedenza meccanica e acustica, valutazione del tempo di riverbero

Contenuti:

a) Lezioni

Cenni alle Equazioni di Lagrange e al Principio di Hamilton. Equazioni del Moto delle vibrazioni libere.

Equazioni del moto delle vibrazioni smorzate. Risposta forzata a proprietà discrete o distribuite con e senza smorzamento. Equazione delle onde. Concetto di impedenza. Acustica degli ambienti a pareti rigide. Acustica degli ambienti a pareti elastiche: Accoppiamento vibroacustico. Metodi risolutivi. Rumore interno dei mezzi di trasporto. Cenni di aeroacustoelettricità. Generalità sui fenomeni aeroelastici.

Forze aerodinamiche instazionarie. Accoppiamento aeroelastico. Richiami al profilo aeroelastico: Flutter. Divergenza e inversione dei comandi. I fenomeni aeroelastici statici. I fenomeni aeroelastici dinamici. Modelli semplificati per lo studio di un pannello in regime sub e supersonico. Risposta in raffica. Risposta Random di sistemi dinamici.

b) Esercitazioni e Laboratorio

Oscillatore semplice, Modelli dinamici in coordinate continue, Modelli dinamici in coordinate discrete, Flutter di un profilo, Risposta in raffica di un profilo, Flutter supersonico di un pannello, Distribuzione di carico elastico su una semiala, Sistema acustoelettrico tubo e pistone, Potenza radiata da un pannello, Risposta vibroacustica di una cavità a pareti elastiche, Risposta di un pannello allo strato limite turbolento.

Propedeuticità: Costruzioni aeronautiche avanzate.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: L'esame finale è orale, integrato da 3 elaborati intracorso e da una prova scritta finale.

Insegnamento: Endoreattori

Modulo: Endoreattori	SSD ING-IND/07	AF b	Anno II	CFU 3
-----------------------------	--------------------------	----------------	-------------------	-----------------

Obiettivi formativi: Il Corso, a valle degli insegnamenti di Propulsione aerospaziale, fornisce agli allievi la capacità di scegliere e progettare i principali tipi di endoreattori. Particolare attenzione è riservata agli endoreattori di tipo chimico e in particolare a quelli a propellenti ibridi. A tale scopo vengono fornite agli allievi nozioni su alcune metodologie per la misura della velocità di regressione in tempo reale e viene mostrato un esempio di applicazione del software Labview alla gestione di una prova di funzionamento dell' endoreattore a propellenti ibridi montato sul banco prova nel Laboratorio di Propulsione aerospaziale del DISIS. Sono previste durante il Corso esercitazioni presso il laboratorio di Propulsione Aerospaziale del DISIS dove è allestito un banco prova per endoreattori di tipo chimico con controllo remoto.

Contenuti: Classificazione degli endoreattori. Dimensionamento di massima degli endoreattori di tipo chimico. Cenni sui principali motori di tipo elettrico. Principali fenomenologie presenti in camera di combustione: instabilità dovute ad oscillazioni di pressione. Possibilità di regolazione della spinta nei razzi a propellenti liquidi e ibridi. Esempio di progettazione di un razzo a propellenti liquidi e di uno a propellenti ibridi per assegnata missione. Gestione di una prova di funzionamento al banco di un motore a propellenti ibridi, rilevamento ed elaborazione dei dati sperimentali.

Propedeuticità: Propulsione aerospaziale II

Modalità di accertamento del profitto: Esame orale con presentazione di elaborato preparato su dimensionamento di massima di un propulsore per missione assegnata

Insegnamento: Fluidodinamica numerica I

Modulo didattico Fluidodinamica numerica I	SSD ING-IND/06	Af b	Anno I	CFU 6
--	--------------------------	----------------	------------------	-----------------

Modalità di insegnamento: Lezione

Modalità di insegnamento: Esercitazione

Modalità di insegnamento: Laboratorio

Ore impegno docente: 20 **Ore impegno studente:** 60

Ore impegno docente: 20 **Ore impegno studente:** 40

Ore impegno docente: 10 **Ore impegno studente:** 44

Modalità di insegnamento: Prova intracorso

Ore impegno docente: 6 **Ore impegno studente:** 6

Obiettivi formativi:

Sviluppare nell'allievo la capacità di modellare fenomenologie di carattere fluidodinamico di tipo stazionario e instazionario incomprimibile con una chiara consapevolezza delle limitazioni sia modellistiche sia computazionali dei metodi della CFD, basata anche su una buona conoscenza della fluidodinamica razionale.

Contenuti:

Metodi diretti e iterativi per la soluzione dei sistemi di equazioni algebriche. Proprietà spettrali delle trasformazioni lineari. Stabilità, consistenza e convergenza nei metodi alle differenze per la soluzione delle equazioni di evoluzione e trasporto lineari. Direzioni alternate, splitting e fractional step. Caratteristiche e condizione CFL. Upwind e viscosità artificiale. Schemi alle differenze standard per equazioni ellittiche. Metodi variazionali, formulazioni deboli, e metodi di Galerkin agli elementi finiti. Interpolazione multivariata ed elementi finiti.

Modello stokesiano e N.S in regime incomprimibile in variabili primitive e i modelli derivati vorticità-funzione di corrente. Metodi di compressibilità artificiale, metodi di calcolo delle pressioni, problemi di b.c. nei vari modelli. L'approccio ai volumi di controllo e i criteri di convergenza per le equazioni di diffusione – convezione in più variabili. L'approccio agli elementi delle N.S. e il criterio LBB. Sviluppo di codici 2-D in Matlab.

Propedeuticità: Termofluidodinamica, Elementi di informatica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova al computer e discussione della prova.

Insegnamento: Fluidodinamica numerica II

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Fluidodinamica numerica II	ING-IND/06	b	II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 20	Ore impegno studente: 60		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 20	Ore impegno studente: 40		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 44		
Modalità di insegnamento: Prova intracorso	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 6		

Obiettivi formativi:

Fornire all'allievo la possibilità di capire e modellare fenomenologie fluidodinamiche in regime turbolento e campi di moto di tipo comprimibile, anche con l'ausilio di codici di tipo industriale ma con una chiara consapevolezza di inevitabili limitazioni dovute non solo ai limiti computazionali ma anche a carenze nello stato dell'arte della conoscenza teorico scientifica di questi complessi settori della fluidodinamica.

Contenuti:

Rassegna di nozioni sulla turbolenza e del problema della sua modellistica. RANS, LES, SGS.

La formazione delle discontinuità nella Burgers e nei modelli instazionari Euleriani nonlineari. Soluzioni deboli e fisicamente rilevanti e relative proprietà. Il ruolo del problema di Riemann, di invarianti e k-invarianti nello sviluppo degli schemi alle differenze. Schemi classici: CIR, Lax – Friedrich, Lax-Wendroff, MacCormack, Goudonov, Murman Cole, Roe, Steger-Warming, Van Leer, etc... Schemi monotoni, tvd e limitazioni di accuratezza. Teoria dei limiters e ricostruzioni eno. Esercitazioni con codici sviluppati in classe e illustrazione di qualche codice industriale.

Propedeuticità: Fluidodinamica numerica I.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova al computer e discussione della prova.

Insegnamento: Fluidodinamica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Fluidodinamica	ING-IND/06	b	I-II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 30		

Obiettivi formativi:

Indirizzare l'allievo alla comprensione di concetti complementari della fluidodinamica e, in modo particolare, quelli collegati agli effetti della viscosità e a varie tipologie di moto.

Contenuti:

Rivisitazione delle equazioni di conservazione e bilancio di massa, quantità di moto ed energia e delle equazioni da esse deducibili in varie forme e in vari sistemi di coordinate. Equazione della vorticità. Il teorema di Kelvin e l'equazione della vorticità. L'uso della funzione di corrente nei moti piani incompressibili. L'equazione biellittica.

Alcune soluzioni esatte delle Navier-Stokes incompressibili: moto stazionario tra piani paralleli, tra cilindri coassiali rotanti, moti tipo Hagen-Poiseuille in cilindri a sezione circolare o qualsiasi, moto dovuto a un filamento vorticoso.

Moti lenti, alcune soluzioni: flusso intorno a una sfera e a un cilindro. Linearizzazione di Oseen. Lo strato di Ekman. La cella di Hele-Shaw. Moto lento nella intercapedine tra superfici piane inclinate.

Strato limite, getti, scie, mixing layers.

I concetti elementari della stabilità in fluidodinamica. Presentazione e discussione di alcuni risultati classici dell'analisi di stabilità fluidodinamica.

Cenni alle problematiche della turbolenza: medie, fluttuazioni, equazioni mediate, chiusura. Qualche risultato classico di modelli semiempirici.

Propedeuticità: Gasdinamica I.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio orale.

Insegnamento: Fondamenti chimici delle tecnologie

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Fondamenti chimici delle tecnologie	CHIM/07	c	I	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 48		Ore impegno studente: 144	
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 6		Ore impegno studente: 6	

Obiettivi formativi:

Piena conoscenza della struttura della materia e della cinetica e termodinamica delle trasformazioni con particolare riferimento a tecnologie e problematiche di interesse ingegneristico (materiali, ambiente, energia, ...).

Contenuti:

L'atomo di idrogeno secondo la meccanica quantistica. Estensione dei risultati agli atomi polielettronici. Il legame covalente. Orbitali molecolari. Criteri per prevedere la valenza degli atomi. Geometria molecolare. Legami multipli. Legame covalente polare. Legame ionico. Legame delocalizzato e legame metallico. Solidi cristallini e amorfi. Difetti presenti nei cristalli: difetti di punto, di linea e di piano. Chimica organica: idrocarburi, gruppi funzionali, isomeria e classi di reazione. La distillazione del petrolio. Combustibili e lubrificanti. Polimeri sintetici e meccanismi di polimerizzazione. Genesi delle bande di valenza e di conduzione nei solidi. Interpretazione delle proprietà meccaniche, termiche, elettriche e magnetiche sulla base della struttura della materia.

Elementi di termodinamica chimica. Energia libera e costanti di equilibrio. Cinetica chimica. Meccanismi di reazione ed energia di attivazione. La catalisi. La combustione. L'ossidazione. Potenziali elettrochimici. Equazione di Nernst. Elettrolisi e metodi di deposizione elettrolitica. Sensori elettrochimici. La corrosione acquosa. Metodi elettrochimici utilizzati in metallurgia. Ferro, alluminio, rame e loro leghe. Tecnologie per la produzione e l'accumulo dell'energia. Pile e accumulatori. Celle a combustibile. Il nucleo e l'energia nucleare. Elementi di chimica dell'ambiente.

Propedeuticità: Tecnologia dei materiali aerospaziali.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Gasdinamica II

Modulo:	SSD	AF	Anno	CFU
Gasdinamica II	ING-IND/06	b	I	9
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 61		Ore impegno studente: 122	
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 21		Ore impegno studente: 21	

Obiettivi formativi: Approfondimento della gasdinamica ed in particolare dell'analisi dei moti in regime compressibile. Metodologie per la determinazione dei campi di moti non stazionari e bidimensionali compressibili. Strumenti e metodi per la progettazione di circuiti termofluidodinamici di interesse aerospaziale.

Contenuti:

Moto con adduzione di massa. Moti unidimensionali generalizzati. Detonazioni e deflagrazioni. Struttura delle onde d'urto. Moto intorno ad un cono. Soluzione delle equazioni di Taylor-Maccoll. Equazioni differenziali alle derivate parziali, teoria delle caratteristiche. Elementi di teoria acustica. Teoria delle caratteristiche non stazionarie. Intersezioni e riflessioni di onde di Mach. Riflessioni di onde d'urto non stazionarie su superfici libere e pareti solide. Tubo d'urto. Equazione del potenziale. Equazione del potenziale linearizzato. Coefficiente di pressione linearizzato. Moto subsonico. Correzioni di compressibilità del secondo ordine. Moto supersonico. Mach critico. Teoria delle caratteristiche 2D. Profili alari. Correzioni del secondo ordine. Moto 3D coni e corpi tozzi ad angolo d'attacco. Moto transonico. Effetti di gas reali. Analogie del moto compressibile. Onde liquide. Traffico elettroacustico. Lo scambio termico in condotti. Temperatura di riferimento. Influenza del numero di Reynolds e del numero di Prandtl. Effetti d'ingresso. Condizioni termiche al contorno. Analogia di Reynolds. Correlazioni turbolente. Scambiatori di calore. Tipi generali. Differenza di temperatura media. Efficienza degli scambiatori di calore. Pompe e compressori. Classificazione e caratteristiche generali. La pompa centrifuga. Curve caratteristiche. Pompe assiali e miste. Pompe in serie ed in parallelo. Scelta della pompa. Pompe multistadio.

Propedeuticità: Gasdinamica I.

Modalità di accertamento del profitto: Prove esercitative e colloquio finale

Strumenti didattici e materiali di consumo: Durante le lezioni si prevede l'utilizzo di videoproiettore. Le esercitazioni proposte richiedono l'uso sia di calcolatrici tascabili che di personal computer. Agli studenti sono fornite fotocopie di dati e grafici utili sia a fini esercitativi in aula che di laboratorio.

Bibliografia:

Anderson, J. D., Modern Compressible Flow, 2nd ed., McGraw-Hill, 1990.
 Thompson, P. A., Compressible Fluid Dynamics, McGraw-Hill, 1972.
 Hodge B. K. and E. K. Koenig, Compressible Fluid Dynamics: With Personal Computer Applications, Prentice Hall College Div, 1995.
 Shapiro, A. H., The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow, Vol. I and II, John Wiley & Sons, 1953.
 Owczarek J. A., Fundamentals of Gas Dynamics, Internat. Textbook, 1964
 Shapiro, A. H., The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow, Vol. I and II, Ronald, New York, 1953.
 Zucrow M. J. and J. D. Hoffman, Gas Dynamics, Vol. I, John Wiley & Sons, 1976 - Vol. II Krieger Publ. Co., 1985
 Carlomagno G. M., Fluidodinamica, Liguori, 2001)
 Courant R. and K. O. Friedrich, Supersonic flow and shock waves, Interscience, 1948

Obiettivi: R1, R2, R5, a3, a5, b1, b2, b3, b4, b5, c2, c3, c4

Insegnamento: Meccanica applicata

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Meccanica applicata	ING-IND/13	c	I	9
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 60 Ore impegno studente: 180			
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 20 Ore impegno studente: 45			

Obiettivi formativi:

Fornire agli allievi le conoscenze fondamentali della meccanica dei meccanismi e delle macchine necessari per poter affrontare lo studio dei principali sistemi meccanici caratteristici dell'ingegneria aerospaziale.

Contenuti:

Nozioni e principi fondamentali della meccanica applicata alle macchine. Coppie cinematiche e meccanismi. Sistemi equivalenti e sistemi ridotti. Stati dinamici delle macchine. Rendimento meccanico e rendimento dei meccanismi. Fenomeni di attrito e di usura. I cuscinetti a strisciamento e a rotolamento. Le trasmissioni meccaniche.

Studio cinematico e cinetostatico dei meccanismi a camma, dei sistemi articolati con catena cinematica chiusa e dei sistemi articolati con catena cinematica aperta. Introduzione alla meccanica dei robot. Esempio del carrello d'atterraggio degli aerei e dei motori alternativi.

Interazione pneumatico-suolo.

Dinamica longitudinale dei veicoli; la frenatura; i freni; il fenomeno dello stick-slip.

Dinamica laterale dei veicoli; i sistemi di sterzata; il fenomeno dello shimmy.

Comportamento dinamico dei veicoli dotati di sospensioni; teoria della monosospensione e dinamica della massa sospesa a due gradi di libertà.

Sospensioni con molle in acciaio, in gomma, pneumatiche e oleopneumatiche.

Propedeuticità: Fisica matematica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: prova orale.

Insegnamento: Progetto generale di velivoli

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Progetto generale di velivoli	ING-IND/03	b	II	9

Modalità di insegnamento: Lezione

Ore impegno docente: 56 **Ore impegno studente:** 175

Modalità di insegnamento: Esercitazione

Ore impegno docente: 22 **Ore impegno studente:** 50

Obiettivi formativi:

Lo scopo del corso è quello di esporre un'organica metodologia di progettazione che, partendo dalla specifica di progetto, permetta di impostare i problemi e arrivare alla configurazione generale del velivolo.

Contenuti:

Attività peculiari dell'Ingegnere. Aspetti e metodologie di progettazione. Certificazione e loro impatto sulla progettazione. Genesi del progetto di un velivolo. Specifica, progetto preliminare, sviluppo, ottimizzazione.

Configurazioni dei velivoli. Configurazioni convenzionali e canard.

Elementi di gestione dei velivoli. Velocità commerciale. Diagramma carico pagante-autonomia.

Costi di esercizio, tratte ottime, efficienza di trasporto. D.O.C..

Configurazione generale. Influenza della propulsione (caudale-sub-alare). Configurazioni dei carrelli. Configurazioni non convenzionali.

Progetto della fusoliera. Progetto dell'ala. Progetto degli ipersostentatori.

Velocità di stallo. Progetto dell'ala in relazione a decollo e atterraggio. Scelta dei propulsori (numero e posizione). Stima della polare del velivolo e delle prestazioni di volo.

Progetto degli alettoni. Progetto degli impennaggi (tipo, ubicazione, problematiche aeroelastiche).

Progetto dei carrelli e degli organi di atterraggio. Uso della galleria aerodinamica.

Propedeuticità: Aerodinamica degli aeromobili.

Prerequisiti: Manovre e stabilità statica.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio ed elaborato scritto.

Insegnamento: Propulsione aerospaziale II

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Propulsione aerospaziale II	ING-IND/07	b	I	6

Modalità di insegnamento: Lezione

Ore impegno docente: 45 **Ore impegno studente:** 130

Modalità di insegnamento: Laboratorio

Ore impegno docente: 10 **Ore impegno studente:** 20

Obiettivi formativi:

Il corso fornisce agli allievi la approfondita conoscenza dei modi e dei limiti di funzionamento di tutti i propulsori aerospaziali dagli aeroreattori agli endoreattori di tipo chimico e agli endoreattori di tipo elettrico. Ciò allo scopo di metterlo in grado di effettuare la scelta del propulsore più adatto ad una assegnata missione e di procedere alla scelta ed al dimensionamento di massima dei componenti del propulsore individuato.

Contenuti:

Il corso è suddiviso in due parti. La prima si occupa degli aeroreattori. In essa sono evidenziati i criteri di progetto che guidano la scelta dei diversi componenti un aeroreattore soffermandosi sul comportamento fuori progetto e sui limiti di funzionamento di ciascun componente. Nella seconda parte sono trattati gli endoreattori di tipo chimico e di tipo elettrico. Sono studiate le interazioni fra parametri di missione e parametri propulsivi e sono messi in evidenza gli effetti del campo gravitazionale. Di seguito sono esaminate le possibili soluzioni propulsive per compiere caratteristiche missioni spaziali: razzi vettori, navette, razzi per il controllo d'assetto dei satelliti, per il de-orbit delle navette e per i trasferimenti interplanetari. E' introdotto il concetto di Pluristadio e descritti i relativi criteri di ottimizzazione.

Propedeuticità: Propulsione aerospaziale I.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale a fine corso.

Insegnamento: Sistemi aerospaziali I

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sistemi aerospaziali I	ING-IND/05	b	I	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 12	Ore impegno studente: 30

Obiettivi formativi:

Fornire elementi su strumentazione e sistemi aerospaziali di navigazione e misura di assetto in termini di modellistica matematico-fisica e soluzioni realizzative.

Contenuti:

Sistemi di radionavigazione (tipologie e parametri prestazionali), sistemi di radionavigazione terrestri (VOR, DME), sistemi di radionavigazione satellitari (GPS per misura di posizione e velocità, analisi di qualità della soluzione e Dilution of Precision, tecnica differenziale e soluzione position-space), sistemi radar doppler, sistemi di supporto per l'atterraggio strumentale (ILS). Strumentazione giroscopica per la misura dell'assetto: modelli matematici, giroscopio verticale e orizzontale e relativi dispositivi accessori, piattaforma stabilizzata nello spazio inerziale, pendolo giroscopico. Giroscopi non convenzionali ottici e di Coriolis. Navigazione inerziale (modello matematico e analisi di stabilità, soluzioni realizzative, piattaforma stabilizzata sul piano orizzontale locale). Sistemi integrati giroscopici e di misura del campo magnetico terrestre, sistemi AHRS.

Propedeuticità: Impianti aerospaziali II.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Sistemi aerospaziali II

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sistemi aerospaziali II	ING-IND/05	b	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 12	Ore impegno studente: 30

Obiettivi formativi:

Fornire gli elementi specialistici per la progettazione dell'impiantistica di bordo dei veicoli aerospaziali in termini di modellistica matematico-fisica e di soluzioni realizzative integrate, con particolare riferimento al settore spaziale.

Contenuti:

Elementi sulla progettazione degli impianti di bordo di un veicolo aerospaziale: ambiente spaziale e sua interazione con il satellite e i suoi sottosistemi (ambiente radiativo, albedo, principali perturbazioni agenti sul satellite, ecc.), principali sottosistemi e componenti di un satellite, descrizione architetture, principi di funzionamento, derivazione requisiti di progetto di sottosistemi e componenti a partire dagli obiettivi della missione spaziale, modelli matematici per il progetto dei vari sottosistemi: sottosistema di controllo termico, sottosistema di potenza elettrica, sottosistema di telemetria e

telecomunicazioni, sottosistema di on-board data handling, meccanismi, sottosistema di guida, navigazione e controllo; dimensionamento di un sistema di correzione e mantenimento orbitale a espulsione di massa, calcolo del consumo di propellente, interfacce tra i diversi sottosistemi, concetti ed elementi introduttivi di qualifica spaziale (norme ESA e MIL) e sistemi di test e prove a terra. Esempi applicativi e realizzativi.

Propedeuticità: Impianti aerospaziali II.

Prerequisiti : Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova scritta e orale.

Insegnamento: Sistemi aerospaziali III

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sistemi aerospaziali III	ING-IND/05	b	I-II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 12	Ore impegno studente: 30

Obiettivi formativi:

Fornire gli elementi introduttivi essenziali dell'avionica per la determinazione ed il controllo dell'assetto in campo aerospaziale, in termini di modellistica matematico-fisica e di soluzioni realizzative integrate, con particolare riferimento al settore spaziale.

Contenuti:

Elementi sui sensori per la determinazione dell'assetto di veicoli aerospaziali: differenti tipologie di sensori di assetto e principio di funzionamento, aspetto della terra nelle lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso, modello di Locator, il campo magnetico della terra: campo principale, perturbazioni al campo principale, modello IGRF e modello di Dipolo, modello di misura dei sensori solari analogici e digitali, dei sensori di orizzonte terrestre, dei sensori magnetici e stellari, principali componenti hardware, metodi ed algoritmi per la determinazione dell'assetto di satelliti stabilizzati a spin e sui tre assi, metodo q. Esempi applicativi e soluzioni realizzative.

Elementi sul controllo di assetto di veicoli aerospaziali: controllo magnetico e attuatori magnetici, principi di funzionamento, tipologie e componenti principali, esempi applicativi e soluzioni realizzative per il controllo della orientazione di satelliti stabilizzati a spin e sui tre assi e per l'acquisizione iniziale dell'assetto all'uscita dal lanciatore.

Propedeuticità: Sistemi aerospaziali II.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova scritta e orale.

Insegnamento: Sistemi aerospaziali di telerilevamento

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sistemi aerospaziali di telerilevamento	ING-IND/05	b	I-II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 12	Ore impegno studente: 30

Obiettivi formativi:

Fornire una conoscenza essenziale delle problematiche connesse con i sistemi aerospaziali per l'osservazione della terra, con particolare riferimento ai sistemi ad alta risoluzione ed alla progettazione di orbite per il telerilevamento.

Contenuti:

Principi fisici del telerilevamento. Elementi sugli effetti atmosferici, finestre atmosferiche. Proprietà spettrali della materia, elementi sulla caratterizzazione della firma spettrale, bande operative dei telesensori. Esempi relativi. Sensori ottici passivi ad immagine, multispettrali e iperspettrali. Acquisizione ed elaborazione digitale dei dati, elementi su procedure di correzione geometrica, di proiezione cartografica e di classificazione multispettrale. Risoluzione e calibrazione. Esempi di soluzioni realizzative e di dimensionamento di massima.

Sistemi attivi a microonde, elementi su radar Doppler e chirp. Elementi sulle antenne e sull'equazione radar. Radar ad apertura sintetica (SAR), ambiguità e risoluzione di range ad azimuth, calibrazione. Elementi essenziali di un processore SAR. Sistemi interferometrici e multistatici. Esempi di soluzioni realizzative e di dimensionamento di massima. Missioni spaziali di telerilevamento, orbite eliosincrone, fattore di ripetizione e copertura periodica, manovre di puntamento, implicazioni sul progetto del sistema e sulle prestazioni dei telesensori, analisi di missione, fattori determinanti nel progetto di orbite per il telerilevamento. Costellazioni. Esempi relativi.

Propedeuticità: Impianti aerospaziali II.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova scritta e orale.

Insegnamento: Sperimentazione delle strutture II

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sperimentazione delle strutture II	ING-IND/04	b	I	3
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 21	Ore impegno studente: 62		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 5	Ore impegno studente: 10		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 2	Ore impegno studente: 2		
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 1	Ore impegno studente: 1		

Obiettivi formativi:

Fornire argomenti e metodi per la sperimentazioni di strutture aerospaziali, con particolare riferimento alle strutture in composito.

Contenuti:

Considerazioni generali relativamente alle sperimentazioni con particolare riferimento a quelle sul composito, Block Diagrammi della sperimentazione, sistemi di misura relativamente agli stati di tensione e deformazione, approfondimento dell'impiego degli estensimetri elettrici compresi gli estensimetri piezoelettrici, norme relative alla sperimentazione delle strutture in composito, con particolare riferimento al MIL Handbook 17 e alle relative procedure sperimentali. Norme ASTM, effetti della temperatura e dell'umidità, effetti dell'urto.

Propedeuticità: Costruzioni aeronautiche avanzate.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Elaborato ed esame orale.

Insegnamento: Sperimentazione di volo

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sperimentazione di volo	ING-IND/03	b	I-II	3
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 16	Ore impegno studente: 48		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 27		

Obiettivi formativi:

Il corso si prefigge gli obiettivi di fornire all'allievo gli elementi per comprendere le problematiche connesse alla sperimentazione di volo di velivoli leggeri e alle problematiche di certificazione. Il modulo prevede esercitazioni sul campo di volo e analisi di dati acquisiti in volo.

Contenuti:

Strumentazione di bordo e del motore.

Analisi e progettazione di un sistema di acquisizione dati di volo.

Sensori e GPS – (1 CFU).

Calibrazione impianto anemometrico - Prove di stallo.

Determinazione della polare in volo librato – Prove di salita (1 CFU).

Prove di stabilità longitudinale, latero-direzionale e misura degli sforzi sui comandi (1 CFU).

Propedeuticità: Aerodinamica degli aeromobili.

Prerequisiti: Manovre e stabilità statica.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio ed elaborato scritto.

Insegnamento: Sperimentazione fluidodinamica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sperimentazione fluidodinamica	ING-IND/06	b	I/II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 20
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 10

Obiettivi formativi:

Fornire i fondamenti di acquisizione ed elaborazione dati con particolare riferimento alle misure in fluidodinamica. Educazione degli allievi alla progettazione di un sistema di misura di grandezze fluidodinamiche.

Contenuti:

Definizione del concetto di misura, misure dirette e indirette. Incertezze di misura e loro classificazione. Analisi delle incertezze. Prestazioni statiche e dinamiche degli strumenti di misura. Natura dei segnali analogici. Serie di Fourier e Trasformata di Fourier. Campionamento e sue conseguenze sull'analisi di un segnale. Analisi di segnali casuali. Analisi di segnale: Convoluzione, Densità spettrale, Correlazione, Cross-correlazione. Ricostruzione di un segnale campionato. Relazioni sistemi Input-output. Applicazione delle metodologie studiate a: 1) Perdite di carico in condotti 1) Misure di turbolenza con anemometria a filo caldo, 2) Particle Image Velocimetry, 3) Misure di flussi termici con termografia IR

Propedeuticità: Gasdinamica I, Elettrotecnica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Sperimentazione spaziale

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sperimentazione spaziale	ING-IND/06	b	III	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 35	Ore impegno studente: 105
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 35
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 10

Obiettivi formativi:

Fornire la descrizione degli aspetti scientifici e delle problematiche operative connesse con l'esecuzione di esperimenti a bordo di piattaforme spaziali, con particolare riferimento alla ricerca in microgravità e al controllo da terra.

Contenuti:

Piattaforme spaziali. Ambiente microgravitazionale. Principali problematiche nei diversi campi della scienza dei fluidi, dei materiali, della vita. Fluidodinamica microgravitazionale. Apparecchiature e operazioni dedicate alla esecuzione di esperimenti in microgravità. Telescienza. Utilizzazione dei Centri di supporto e problematiche di invio/ricezione di dati e comandi.

Propedeuticità: Gasdinamica I.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Stabilità delle strutture

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Stabilità delle strutture	ING-IND/04	b	I	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 50	Ore impegno studente: 120
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 15
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 5	Ore impegno studente: 10
Modalità di insegnamento: Prova intracorso	Ore impegno docente: 2	Ore impegno studente: 5

Obiettivi formativi:

Il corso prepara gli studenti alla progettazione e verifica di strutture aerospaziali con riferimento ai fenomeni di instabilità elastica e non elastica. Il corso prevede esempi ed esercitazioni pratico/numeriche. Sono affrontati i principi della stabilità statica strutturale e i metodi di soluzione dei relativi problemi. Sono, inoltre, presentate formulazioni e metodi di pratico impiego per la progettazione e verifica di strutture relativamente ai fenomeni di instabilità.

Contenuti:

Elementi di base della teoria della stabilità e semplici modelli. Equilibrio ed effetti delle imperfezioni. Metodi energetici. Effetti del taglio sul carico di instabilità. Instabilità non elastica: equazioni e soluzioni. Effetto dei vincoli sull'instabilità delle strutture. Instabilità flessione - torsionale delle travi. Instabilità laterale delle travi. Instabilità delle piastre e dei pannelli irrigiditi. Instabilità dei gusci cilindrici. Effetto della pressurizzazione. Instabilità a carichi combinati. Fenomeni di instabilità locale. Metodi sperimentali e formule di pratico impiego. Cenni sui materiali compositi (Equivalent Orthotropic Plate, CFRP e Sandwich).

Propedeuticità: Costruzioni aeronautiche avanzate.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova intracorso. Prova finale orale con discussione di un elaborato scritto preparato durante il corso.

Insegnamento: Stabilità dinamica e qualità di volo

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Stabilità dinamica e qualità di volo	ING-IND/03	b	I-II	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 16	Ore impegno studente: 48
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 27

Obiettivi formativi:

Introdurre i principi che regolano la stabilità dinamica longitudinale e latero-direzionale di un velivolo, nonché fornire gli elementi per valutare le sue qualità di volo. A tal fine è previsto l'uso di comuni pacchetti software.

Contenuti:

Equazioni linearizzate, moto longitudinale e latero-direzionale (1CFU).

Uso di MATLAB per la soluzione delle equazioni del moto, analisi dei risultati e dei moti caratteristici (corto periodo, fuga, ecc...) (1CFU).

Qualità di volo relative al moto longitudinale e latero-direzionale. Principi di controlli automatici (1CFU).

Propedeuticità: Aerodinamica degli aeromobili, Manovre e stabilità statica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio ed elaborato scritto.

Insegnamento: Stabilità fluidodinamica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Stabilità fluidodinamica	ING-IND/06	b	I-II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 36	Ore impegno studente: 112
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 24
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 8	Ore impegno studente: 8
Modalità di insegnamento: Prova intracorso	Ore impegno docente: 0	Ore impegno studente: 6

Obiettivi formativi:

Fornire le teorie di base e le metodologie di indagine per lo studio della stabilità di flussi in un contesto applicativo e avanzato.

Contenuti:

Concetti e definizioni di stabilità in fluidodinamica. Linearizzazione del problema. Analisi ai modi normali per flussi paralleli. Alcuni classici esempi fisici. Disturbi localizzati nello spazio e nel tempo. Instabilità assoluta e convettiva. L'equazione di Landau-Ginzburg. Stabilità di flussi paralleli. Il problema della stabilità di Rayleigh per flussi non viscosi. Flussi viscosi. L'equazione di Orr-Sommerfeld. Stabilità di flussi non paralleli. Instabilità globale. Legami tra instabilità globale e instabilità assoluta/convettiva per flussi localmente paralleli. Cenni ai modi globali in regime non-lineare. Instabilità per crescita non modale (transitoria) dei disturbi. Transizione da moto laminare a turbolento in flussi di parete. Modelli di transizione.

Propedeuticità: Gasdinamica I.

Prerequisiti: Fisica matematica.

Modalità di accertamento del profitto: Prova scritta e orale.

Insegnamento: Strutture aerospaziali avanzate

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Strutture aerospaziali avanzate	ING-IND/04	b	II	9
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 70	Ore impegno studente: 180		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 16	Ore impegno studente: 37		
Modalità di insegnamento: Prova intracorso	Ore impegno docente: 4	Ore impegno studente: 8		

Obiettivi formativi:

Il corso fornisce gli elementi per il calcolo del comportamento non-lineare delle strutture, sia statico che dinamico. Sono introdotti i metodi per l'analisi delle non linearità geometriche e per il calcolo del comportamento non lineare del materiale, con riferimento al dimensionamento di elementi strutturali tipici delle costruzioni aerospaziali. Sono presentati i concetti applicativi e le procedure di calcolo legate alla modellazione di laminati compositi con il Metodo degli Elementi Finiti impostando il concetto di correlazione tra modello strutturale semplice e simulazione numerica di dettaglio. Successivamente vengono discussi gli elementi per il calcolo del comportamento dinamico non-lineare delle strutture, con riferimento sia ad applicazione lenta del carico sia nel caso di impatto con corpi esterni (debris, volatile, etc.). Sono introdotti i metodi per l'integrazione delle equazioni dinamiche non lineari e sono presentati alcuni esempi di applicazioni realistiche che possano aiutare a interpretare la fenomenologia e identificare i parametri strutturali più significativi. Il corso prosegue con l'introduzione ai problemi di comportamento termoelastico delle strutture e di risposta ai carichi random, e si conclude con un accenno alla teoria del calcolo probabilistico delle strutture.

Contenuti:

Formulazione generale di un problema non-lineare. Introduzione ai metodi di analisi non lineare. Non linearità nella relazione tensioni-deformazioni (plasticità, creep, etc.). Non linearità nella relazione deformazione-spostamenti (Problemi di non linearità geometrica) per piastre sottili a comportamento misto. La schematizzazione delle non linearità dei materiali. Matrice geometrica. Matrice di rigidità tangente. Analisi e confronti con i casi di comportamento lineare. La modellazione agli elementi finiti di laminati compositi e di strutture sandwich. Criteri di rottura di materiali compositi e verifiche strutturali statiche. Formulazione generale di un problema dinamico non-lineare. Relazioni costitutive e impostazione del calcolo numerico per un problema dinamico non-lineare. La caratterizzazione dell'elemento finito non lineare. Altre tipologie di modelli non lineari. La simulazione del comportamento dinamico dei materiali (viscoelasticità). I requisiti di crashworthiness delle strutture aeronautiche. L'analisi termoelastica di una struttura. La risposta di una struttura ai carichi random. Analisi e verifiche dimensionali.

Propedeuticità: Costruzioni aeronautiche avanzate.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova intracorso. Prova finale orale con discussione di un elaborato scritto preparato durante il corso.

Insegnamento: Turbolenza

Modulo didattico:
Turbolenza

SSD:
ING-IND/06

Af:
b

Anno
I-II

CFU
3

Modalità di insegnamento: Lezione

Ore impegno docente: 36 **Ore impegno studente:** 75

Obiettivi formativi:

Introdurre l'allievo alle problematiche dei moti turbolenti e ai relativi modelli più semplici per flussi all'interno di condotti o all'esterno di corpi.

Contenuti:

Origine e natura dei moti turbolenti. Approccio statistico. Equazioni mediate per il bilancio della massa, della quantità di moto e di grandezze scalari. Equazioni di bilancio per l'energia cinetica per il moto medio e turbolento. L'equazione del tensore di Reynolds e il problema della chiusura. La viscosità turbolenta. Flussi turbolenti in prossimità di pareti. La legge di parete. Cenni ai principali modelli semiempirici. Flussi turbolenti di getti, mixing layers e scie. Moti turbolenti intorno a corpi di diversa forma, attrito di forma: abachi e diagrammi.

Cenni alle problematiche relative alla struttura della turbolenza: correlazioni spaziali e temporali, turbolenza omogenea e isotropa; le scale della turbolenza e lo scambio di energia. Modelli di turbolenza.

Propedeuticità: Gasdinamica I.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio orale.

Calendario delle attività didattiche nell'a.a. 2006/2007

I ANNO

1° semestre	Inizio 25 settembre 2006	Termine 16 Dicembre 2006
Esami	Inizio 18 Dicembre 2006	Termine 24 Febbraio 2007
2° semestre	Inizio 26 Febbraio 2007	Termine 09 Giugno 2007
Esami	Inizio 11 Giugno 2007	Termine 04 Agosto 2007
Esami	Inizio 20 Agosto 2007	Termine 29 Settembre 2007