

La presente guida è parte integrante del Manifesto degli Studi.

Ai fini della consultazione si consiglia l'utilizzo dell'indice allegato al fondo del volume.

Eventuali aggiornamenti ai programmi dei corsi sono consultabili sul sito: <http://didattica.polito.it/guide>



**POLITECNICO  
DI TORINO**

# **INGEGNERIA AEROSPAZIALE**

## **NUOVO E VECCHIO ORDINAMENTO**

# **INGEGNERIA ASTRONAUTICA**

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

Edizione 2001

2005

Guida  
ai programmi  
dei corsi  
2001/2002



POLITECNICO  
DI TORINO

INGEGNERIA AEROSPAZIALE  
NUOVO E VECCHIO ORDINAMENTO

INGEGNERIA ASTRONAUTICA

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

Stampato dalla AGIT Beinasco (To)  
nel mese di Agosto 2001

50015005

La presente guida è parte integrante del Manifesto degli Studi.

Ai fini della consultazione si consiglia l'utilizzo dell'indice alfabetico stampato al fondo del volume.

Eventuali aggiornamenti ai programmi dei corsi sono consultabili all'indirizzo: <http://didattica.polito.it/guide>

## **SOMMARIO**

### **Nuovo Ordinamento**

Introduzione pag. 7

### **Vecchio Ordinamento**

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale pag. 49

Scienze Umane pag. 155

## 5 INTRODUZIONE

### Obiettivi formativi ed ambiti professionali tipici

Gli ingegneri aerospaziali, sia laureati che laureati specialisti, possono trovare occupazione nei settori industriali aeronautici ed aerei, nei pubblici e privati per lo sfruttamento di nuovi aerospaziali, aziende di trasporti aerei, enti per la gestione del traffico aereo, servizi tecnici e servizi aeronautici di altre armi, industrie per la produzione di macchine ed apparecchiature per uso civile (navi, aeromobili, elicotteri) e in strutture leggere.

Dove le figure del laureato e del laureato specializzato differiscono è soprattutto nella capacità di progettare e nelle capacità attese.

Alcuni provvedimenti tipici dell'ingegnere laureato sono la progettazione avanzata, la produzione, la gestione ed organizzazione, l'assistenza e l'attività tecnico-commerciale. Alcuni problemi ed ambiti dell'ingegnere laureato specializzato sono la progettazione avanzata, la progettazione, la programmazione e la gestione di sistemi complessi, l'innovazione e lo sviluppo, l'attività produttiva, e la ricerca di base ed applicata.

## NUOVO ORDINAMENTO

### Il percorso formativo

L'ordinamento prevede discipline fondamentali dell'ingegneria, comuni però anche al diploma, e un'ampia introduzione all'aeronautica.

Il primo anno ha insegnamenti di Matematica che favorisce agli studenti sia dal punto di vista culturale sia come preparazione delle discipline matematiche.

Il secondo anno è ricco di contenuti sia metodologici, sia concettuali dell'ingegneria in generale e dell'ambito aerospaziale in particolare. I settori a cui si riferisce sono: aerodinamica, propulsione, strutture, sistemi.

Il terzo anno è diviso in due sezioni, la prima "professionale", basata su attività lavorative nei settori del lavoro, viene completata la formazione teorica con la gestione di aspetti di economia ed organizzazione aziendale e di controllo della qualità del prodotto. Nel secondo semestre del terzo anno (secondo periodo), il laureato può scegliere di seguire una seconda laurea triennale, la magistrale, in una delle materie di orientamento.

Le conoscenze ed i previsti sono: 1) Progettazione - Manutenzione - Direzione, 2) Sviluppo - Ricerca, 3) Regolazione, ma questa configurazione non è di natura definitiva, perché la sua attuazione sarà definita in seguito.

Il quarto anno, "generale", il terzo anno è caratterizzato da due forti aperture: l'ingresso di laureati in discipline e tecniche con lo scopo di permettere un accesso senza difficoltà, anche per chi non ha seguito la laurea specialistica. Un'ampia copertura di crediti (circa 120) è prevista, il laureato si laurea ed ha diritto ad accedere agli altri 3° anni "professionali".

## 01EPX AEROGASDINAMICA A

Periodo:	3,4
Crediti:	7
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di fornire agli studenti le nozioni di base della fluidodinamica. Con riguardo al corso di studi nel quale è inquadrato, il corso tratta in modo particolare il problema della determinazione della distribuzione di pressione attorno a profili alari subsonici e supersonici nonché la determinazione delle forze e dei momenti risultanti. Vengono studiate le ali secondo lo schema della linea portante ed il comportamento dei fluidi compressibili in condotti adiabatici a sezione variabile. Infine si studia la resistenza di attrito su profili alari.

Indicativamente il corso è articolato in trenta ore di lezione e sessanta di esercitazioni.

### **Prerequisiti**

Termofluidodinamica

### **Programma**

Proprietà dei fluidi. Ali e profili alari. Forze e momenti agenti su ali e profili e loro coefficienti adimensionali. Linee di corrente, tubi di flusso, teorema di Bernoulli. Spiegazione intuitiva della portanza di un profilo. Equazioni generali della fluidodinamica: legge dei gas perfetti, equazione di continuità, della quantità di moto, dell'energia, dell'entropia. Teorema di Lagrange-Thomson. Grandezze di arresto. Funzione di corrente e potenziale di alcuni campi semplici e composti. Il cilindro circolare: le forze agenti, teorema di Kutta-Joukowski. Cenni sul potenziale complesso e sulle trasformazioni conformi. Trasformazione di un cerchio in lamina piana e arco di cerchio. Teoria delle piccole perturbazioni: calcolo della distribuzione di pressione e dell'incidenza di portanza nulla per un profilo sottile. Ala finita secondo lo schema del segmento portante. Calcolo di portanza e resistenza indotta. Ala ellittica. Equazione integrodifferenziale di Prandtl e sua soluzione approssimata. Linearizzazione dell'equazione del potenziale. Correzione di Prandtl-Glauert per profili e ali. Numero di Mach critico. Moti supersonici in teoria linearizzata: metodo delle caratteristiche. Studio di profili e getti. Espansione di Prandtl-Meyer. Onde d'urto rette ed oblique. Studio di un ugello di De Laval per diverse condizioni della pressione a monte e a valle. Lo strato limite. Transizione e separazione. Resistenza di strato limite. Strato limite su lamina piana. Equazione integrale dello strato limite per la lamina piana e calcolo degli sforzi di attrito a parete. Coefficiente di attrito per lamina piana e sua dipendenza dal numero di Reynolds. Il metodo di Froude per il calcolo di coefficienti di resistenza di profili.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Applicazioni del teorema della quantità di moto in forma integrale a problemi pratici. Studio di campi di moto semplici con determinazione delle funzioni di corrente e potenziale. Calcolo di velocità nei punti di un campo di moto. Calcolo delle pressioni attorno ad un cilindro circolare con o senza circuitazione.

Calcolo dell'incidenza ideale e dell'incidenza di portanza nulla per profili sottili. Calcolo della distribuzione di pressione su lamine curve.

Calcolo delle caratteristiche di qualche ala finita e confronto con l'ala ellittica.

Studio in teoria linearizzata di getti supersonici e di profili alari. Calcolo di portanza e resistenza d'onda.

Espansione di Prandtl-Meyer: calcolo di velocità, pressione e temperatura.

Calcoli riguardanti onde d'urto rette ed oblique: aumento di pressione, di densità, di temperatura; diminuzione di velocità e pressione di arresto.

Studio numerico di un ugello di De Laval per fluido compressibile e per diverse condizioni di pressione a monte e a valle; caso omoentropico e caso con onda d'urto di ricompressione.

Applicazione del teorema della quantità di moto per la determinazione degli sforzi di attrito su una lamina piana investita senza incidenza. Calcolo dei coefficienti di attrito per strato limite tutto laminare, tutto turbolento o con transizione naturale o imposta ad una determinata percentuale della corda. Applicazione dei risultati conseguiti per la determinazione del coefficiente di resistenza di profili alari secondo il metodo di Froude.

## Bibliografia

F. Quori, Aerodinamica; R.Arina & F. Quori, Esercizi di Aerodinamica; G. Iuso & F. Quori, Gasdinamica: Problemi Risolti e Richiami di Teoria. Edizioni Levrotto & Bella.

## Esame

È prevista una prova scritta consistente nella risoluzione numerica di problemi di aerodinamica integrata da una prova orale che potrà anche consistere in quiz a risposta multipla.

# 01EPS ANALISI MATEMATICA F

Periodo:	1
Crediti:	4
Precedenze obbligatorie:	Analisi Matematica A, Geometria A1, Geometria B2
Docente:	da nominare

---

## **Presentazione del corso**

Il modulo ha lo scopo di completare la formazione di base dell'allievo in Analisi Matematica, iniziata al I Anno con i corsi di Analisi Matematica A e di Analisi Matematica C.

## **Prerequisiti**

I contenuti dei corsi di Analisi Matematica A, Geometria A1, Analisi Matematica C e Geometria B2

## **Programma**

- Serie numeriche; integrali impropri
- Serie di potenze
- Serie di Fourier
- Sistemi di equazioni differenziali e problemi di Cauchy
- Equazioni e sistemi lineari a coefficienti costanti

## **Laboratori e/o esercitazioni**

Il corso prevede esercitazioni svolte in aula.

## **Bibliografia**

Materiale didattico a cura del docente; l'eventuale testo di riferimento sarà indicato dal docente all'inizio del corso.

## **Esame**

Saranno comunicate all'inizio del corso.

## **11ACF ANALISI MATEMATICA I**

Periodo:	1
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	nessuna
Docente:	da nominare

---

### **Presentazione del corso**

Il corso ha lo scopo di introdurre gli strumenti basilari del calcolo differenziale e integrale per le funzioni reali di una variabile reale. Il corso si articola in lezioni ed esercitazioni. Materiale didattico per il lavoro individuale sarà disponibile in rete: la correzione degli esercizi sarà effettuata settimanalmente sotto la guida di studenti coadiutori.

Il docente è disponibile per consulenza secondo un orario che sarà reso noto all'inizio del corso.

### **Prerequisiti**

Algebra elementare ed equazioni algebriche, sistemi lineari, trigonometria, coordinate cartesiane del piano, rette, ellissi, parabole.

### **Programma**

Numeri e funzioni reali di variabile reale. Limiti e continuità. Derivate. Teoremi sulle funzioni continue e sulle funzioni derivabili. Formula di Taylor, infiniti e infinitesimi. Studi di funzione.

Integrale definito e indefinito, teorema fondamentale del calcolo.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Esercitazioni svolte in aula

### **Bibliografia**

Materiale didattico preparato dal docente; l'eventuale testo di riferimento sarà indicato dal docente all'inizio del corso

### **Controllo dell'apprendimento**

Prova di accertamento al termine del primo semestre.

### **Esame**

Scritto e orale.



## **09ACI      ANALISI MATEMATICA II**

Periodo:	3
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	Analisi Matematica I e Istituzioni di Analisi e Geometria
Docente:	da nominare

---

### ***Presentazione del corso***

Il corso ha per scopo l'introduzione dei principali strumenti del calcolo differenziale e integrale per le funzioni di più variabili reali (con particolare riferimento al caso delle funzioni di due variabili).

Il corso si articola in lezioni ed esercitazioni. Materiale didattico per il lavoro individuale sarà disponibile in rete: la correzione degli esercizi sarà effettuata settimanalmente sotto la guida di studenti coadiutori.

Il docente è disponibile per consulenza secondo un orario che sarà reso noto all'inizio del corso.

### ***Prerequisiti***

Contenuti del corso di Analisi Matematica I e di Istituzioni di Analisi e Geometria

### ***Programma***

Funzioni di più variabili, derivate parziali, derivata direzionale, gradiente, matrice jacobiana, divergenza, rotore. Estremi liberi per le funzioni di due variabili.

Integrali multipli e integrali curvilinei. Campi vettoriali conservativi.

Serie di potenze e serie di Fourier.

### ***Laboratori e/o esercitazioni***

Esercitazioni svolte in aula.

### ***Bibliografia***

Materiale didattico preparato dal docente; l'eventuale testo di riferimento sarà indicato dal docente all'inizio del corso

### ***Controllo dell'apprendimento***

Prova di accertamento.

### ***Esame***

Scritto e orale.

## 02AHV CHIMICA I

Periodo:	2	3	Primo
Crediti:	5	5	Credito
Precedenze obbligatorie:			Precedenze obbligatorie
Docente:	da nominare	da nominare	Docente

---

### Programma

- LEGGI FONDAMENTALI E STRUTTURA DELL'ATOMO (10 ORE)
  - Concetti fondamentali e leggi della chimica
  - Modelli atomici e proprietà periodiche
- LEGAME CHIMICO (10 ORE)
  - Legame ionico, covalente, dativo
  - Ibridazione, risonanza
  - Forze intermolecolari
  - Legame metallico
- STATI DI AGGREGAZIONE DELLA MATERIA (10 ORE)
  - Gas ideali, equazione di stato, teoria cinetica. Gas reali
  - Liquidi, tensione di vapore
  - Solidi, raggi X, equazione di Bragg, strutture cristalline
- CARATTERISTICHE DELLE REAZIONI CHIMICHE (10 ORE)
  - Velocità di reazione e fattori influenzanti
  - Termochimica (calore di reazione, legge di Hess)
- EQUILIBRIO CHIMICO (10 ORE)
  - Legge di azione di massa, principio di Le Chatelier
  - Equilibri in soluzione acquosa, pH, prodotto di solubilità, idrolisi
- CENNI DI ELETTROCHIMICA (5 ORE)
  - Celle elettrolitiche e voltaiche
  - Potenziali di elettrodo e legge di Nernst
- COMPOSTI E REAZIONI DEI PRINCIPALI ELEMENTI CHIMICI (5 ORE)

## 03AJG    **COMPLEMENTI DI FISICA**

Periodo:	4
Crediti:	1
Precedenze obbligatorie:	FISICA 2
Docente:	Paolo ALLIA

---

### **Presentazione del corso**

Lo scopo del corso è di fornire agli studenti che proseguiranno verso la laurea specialistica specifici approfondimenti ed integrazioni su alcune importanti nozioni fisiche discusse in forma semplificata nel modulo di Fisica 2, quali l'equazione della conduzione termica, il concetto statistico di entropia e di irreversibilità dei fenomeni termodinamici, le equazioni di Maxwell in forma differenziale per campi elettrici e magnetici statici o quasi-statici. A tale scopo verrà fatto uso di un formalismo matematico più avanzato.

### **Prerequisiti**

Fisica 1; Fisica 2 (ASP).

### **Programma**

Energia termica e meccanismi di trasferimento dell'energia termica; l'equazione della conduzione termica.

Considerazioni statistiche sull'entropia e sui processi irreversibili.

Equazioni di Maxwell per l'elettrostatica e la magnetostatica (in forma differenziale).

Equazione di Laplace.

### **Bibliografia**

appunti forniti dal docente

### **Esame**

È prevista una prova scritta integrabile da colloquio orale. Eventuali modifiche a questo schema saranno comunicate ad inizio corso.

## 01EPW    **COMPLEMENTI DI FISICA C**

Periodo:	3
Crediti:	1
Precedenze obbligatorie:	Fisica C
Docente:	da nominare

---

### **Presentazione del corso**

Lo scopo del corso è di fornire agli studenti che proseguiranno verso la laurea specialistica specifici approfondimenti ed integrazioni su alcune importanti nozioni fisiche discusse in forma semplificata nel modulo di Fisica 3, quali l'equazione delle onde in più di una dimensione e le relative soluzioni, nonché alcuni rilevanti fenomeni fisici connessi con il moto di sorgenti sonore rispetto al mezzo in cui si propagano le onde sonore stesse.

### **Prerequisiti**

Fisica 1; Fisica 2 (ASP), Fisica 3 (ASP).

### **Programma**

L'equazione delle onde in più di una dimensione. Onde piane e sferiche.

Sorgenti sonore in movimento rispetto al mezzo: effetto Doppler acustico, cono di Mach, onde d'urto.

### **Bibliografia**

Appunti forniti dal docente

### **Controlli dell'apprendimento**

Eventuali procedure di verifica in itinere saranno precisate all'inizio del corso.

### **Esame**

È prevista una prova scritta integrabile da colloquio orale. Eventuali modifiche a questo schema saranno comunicate ad inizio corso.

## 01EPT    **COMPLEMENTI DI MATEMATICA**

Periodo:	2
Crediti:	4
Precedenze obbligatorie:	Analisi Matematica A, Geometria A1, Geometria B2, Analisi Matematica C.
Docente:	<b>da nominare</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso ha un contenuto prevalentemente metodologico e formativo. Esso mira a sviluppare nell'allievo l'attitudine al ragionamento logico-deduttivo e all'astrazione matematica, saggiando le sue effettive capacità in tale ambito. Alcuni argomenti particolarmente significativi, già considerati in uno dei precedenti corsi matematici, saranno rivisitati ed approfonditi criticamente, anche allo scopo di fornire più solide basi alla formazione matematica dell'allievo ingegnere. Verranno inoltre introdotti alcuni concetti nuovi, che troveranno applicazione nei successivi corsi di matematica previsti per gli allievi che proseguiranno la loro formazione nella Laurea Specialistica.

### **Prerequisiti**

I contenuti dei corsi di Analisi Matematica A, Geometria A1, Analisi Matematica C e Geometria B2

### **Programma**

Punti fissi di funzioni ed applicazioni. Spazi vettoriali; applicazioni lineari tra spazi vettoriali e loro proprietà; esempi significativi. Spazi normati. Successioni e serie di funzioni; vari tipi di convergenza. Rappresentazione di una funzione in serie (generalizzata); esempi e applicazioni.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Il corso prevede esercitazioni svolte alla lavagna.

### **Bibliografia**

Materiale didattico a cura del docente; gli eventuali testi di riferimento saranno indicati dal docente all'inizio del corso.

### **Esame**

L'esame è orale. Maggiori dettagli saranno comunicati all'inizio del corso.

## 01EPV COSTRUZIONI AERONAUTICHE A

Periodo:	2
Crediti:	3
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Erasmus CARRERA

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di fornire le nozioni di base per affrontare i successivi corsi di calcolo ed analisi delle costruzioni aeronautiche e spaziali. Si vuole in particolare introdurre lo studente su quanto ai seguenti tre punti. 1. Comprendere la funzione di una struttura in ambito aerospaziale rispetto ai carichi cui è assoggettata ed ai requisiti cui deve soddisfare. 2. Descrivere le possibili soluzioni strutturali utilizzate in ambito aerospaziale. 3. Fornire strumenti e metodologie atte a comprendere la maniera in cui i carichi applicati si diffondono in una data struttura.

I primi due punti vengono trattati in maniera molto sintetica. Gran parte del corso è dedicato al punto 3, la cui trattazione sarà circoscritta ad elementi strutturali unidimensionali ed all'analisi dello stato di sollecitazione nel caso in cui lo stesso sia dominato dalle equazioni della statica.

### **Prerequisiti**

Corsi di Fisica - Istituzioni Aeronautiche

### **Programma**

Generalità sulle strutture nelle costruzioni aeronautiche ed aerospaziali. Funzioni degli elementi strutturali in considerazioni dei carichi applicati e dei requisiti di progetto nelle costruzioni leggere. Equilibrio di sistemi di sistemi forze applicate a corpi rigidi in presenza di vincoli. Diverse tipologie di forza e di vincolo. Il problema del calcolo delle reazioni vincolari. Sistemi isostatici e sistemi iperstatici. Lo stato di sollecitazione e di deformazione. Significato di tensioni e di deformazioni. Gli elementi strutturali unidimensionale barra e trave. Strutture costituite da combinazione di essi e condizioni di equilibrio delle stesse nel caso isostatico. Diagrammi delle sollecitazioni. Richiami di geometria delle masse di sezioni di tipico impiego aerospaziale. Lo stato di deformazione in elementi strutturali unidimensionali. La teoria di Eulero/Bernoulli e la formula di Navier. L'equazione della linea elastica. Stati di sollecitazione semplici: sforzo normale, flessione, torsione. Stati di sollecitazione composti. Introduzione di ammissibile e suo calcolo.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Saranno sviluppati esercitazioni numeriche su tutti gli argomenti presentati a lezione.

### **Bibliografia**

Appunti forniti dal docente.

P. CICALA, 'Scienza delle costruzioni', Levrotto & Bella.

F. ALGOSTINO, G. FARAGGIANA, A. SASSI PERINO 'Scienza delle costruzioni', Levrotto & Bella.

### **Esame**

Scritto: Risoluzione di esercizi.

Orale: Colloquio.

## 01ALY COSTRUZIONI AERONAUTICHE B

Periodo:	3/4
Crediti:	6
Precedenze obbligatorie:	Per una migliore comprensione del Corso è richiesta la conoscenza delle seguenti materie: Istituzioni di Aeronautica e Costruzioni Aeronautiche A
Docente:	da nominare

---

### **Presentazione del corso**

Il corso ha come obiettivo quello di fornire una descrizione dettagliata delle strutture aeronautiche, una solida preparazione di base e un'adeguata conoscenza delle problematiche strutturali e delle moderne tecniche di calcolo delle strutture aeronautiche. L'allievo alla fine del corso avrà maturato conoscenze nell'ambito dell'architettura del velivolo, in particolare sulle funzioni degli elementi strutturali, sui carichi agenti e sui modelli strutturali basilari: travi, piastre e gusci, e sul loro campo d'applicazione. Saprà effettuare analisi strutturali mediante i modelli semplificati della trave e del semiguscio ideale, entrambi in grado di cogliere i modi primari di propagazione dei carichi all'interno delle strutture aeronautiche. Analizzerà problemi sui limiti di stabilità elastica e apprenderà i fondamenti di tecniche di dettaglio di particolari strutturali, quali piastre d'attacco, centine, ordinate.

### **Programma**

Introduzione al Corso: Contenuti e Modalità di esame.

Architettura degli elementi strutturali e loro funzioni; problematiche peculiari del loro comportamento. Fatica e meccanica della frattura come aspetti caratterizzanti delle strutture aeronautiche. Le funzioni della struttura. Il compito dell'analisi strutturale.

Progetto strutturale: tema e requisiti di specifica. Livelli di carichi di progetto. Prescrizioni di robustezza, rigidità, elasticità. Concetto di struttura safe-life, fail-safe e damage tolerant.

Classificazione dei carichi: statici, quasi-statici e dinamici. Carichi derivanti da manovre dell'aeromobile e dalla turbolenza atmosferica. Norme di aeronavigabilità Campo di sicurezza assoluto e campo di sicurezza regolamentare. Fattori di carico. Principali tipi di manovre e relativi fattori di carico. Ripartizione della portanza tra l'ala e la coda. Brusca manovra longitudinale. Carichi termici. Principali effetti della temperatura sulle strutture. Principali materiali metallici e compositi impiegati nelle strutture aerospaziali.

Elementi strutturali e loro schemi Schema a trave dei principali elementi costituenti la struttura di un velivolo. Pregi e limiti di validità. Sollecitazioni tipiche agenti sull'ala, sugli impennaggi e sulla fusoliera. Ala e impennaggi: longheroni e centine; rivestimenti irrigiditi e non; pannelli sandwich; attacchi a sforzi concentrati e diluiti; ali rastremate e/o a freccia.

Fusoliera: strutture reticolari e a semiguscio. Collegamenti ala-fusoliera, impennaggi-fusoliera e relative superfici mobili.

Teoria elementare del semiguscio. Le strutture a guscio e a guscio rinforzato (semiguscio); le funzioni dei vari elementi. Ipotesi del semiguscio ideale. Il concetto di striscia collaborante. Richiami sulla flessione, torsione e taglio. Formule di Bredt. Stato di sollecitazione negli irrigidimenti di una sezione a semiguscio sollecitata a sforzo normale e momento flettente. Stato di sollecitazione nei pannelli e gradiente di torsione in una sezione a semiguscio sollecitata a taglio e/o torsione: pannelli curvi sede di flusso di taglio costante; centro di taglio; sezione a semiguscio aperta sollecitata a taglio; sezione a semiguscio monocella sollecitata a taglio e/o torsione; sezione a semiguscio mul-

ticella sollecitata a taglio e/o torsione. Stato di sollecitazione nei correnti e nei pannelli delle travi a semiguscio rastremate.

Limiti di stabilità elastica. Concetti, definizioni e criteri. Tipici fenomeni di cedimento strutturale per instabilità dell'equilibrio. Studio della stabilità di alcuni modelli elementari. Effetto delle imperfezioni di forma. Concetti di punto limite e di punto di biforcazione. Approfondimento dell'instabilità biforcata. Stabilità delle aste compresse. Carichi critici: per instabilità generale (aste snelle o tozze), locale e flessio-torsionale. Introduzione alla stabilità delle piastre sottili (modello piastra di Kirchhoff, non linearità di von Kármán. Cenni sul comportamento post-critico. Il concetto di striscia collaborante nelle piastre compresse. Stabilità elastica delle piastre sollecitate a taglio puro. Campo di tensione diagonale completo e parziale. Piastre soggette a compressione biassiale e taglio. Alcuni risultati analitici sulle piastre rettangolari isotrope. Piastra piana sollecitata a compressione e semplicemente appoggiata su tutti i lati. Altre condizioni di vincolo. Deformabilità dei pannelli sollecitati a taglio. Estensione della trattazione al caso delle piastre irrigidite, sandwich e multistrato.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Le esercitazioni sono svolte in aula o presso il laboratorio informatico o strutturale del DIASP sotto la guida del docente. Durante le esercitazioni sono risolti, manualmente e mediante programmi di calcolo, diversi problemi in cui sono applicati i concetti e le metodologie visti durante le lezioni.

Esse riguardano, nel dettaglio, il tracciamento dei diagrammi di manovra, di raffica e inviluppo. Il calcolo della ripartizione della portanza tra l'ala e la coda. Il tracciamento dei diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione lungo l'asse della semiala e della fusoliera, per una prescelta condizione di carico. Calcolo dello stato di sollecitazione per flessione nei correnti di una prescelta sezione alare. Calcolo dei flussi di taglio nei pannelli di una sezione alare. Unioni: tipologia e modi di cedimento. Verifica di un attacco alare a sforzi concentrati.

Le esercitazioni di laboratorio riguardano il rilievo sperimentale di deformazioni e gradienti di torsione in un cassone sottoposto a torsione. Prove di trazione su provini standard. Prove sperimentali di compressione biassiale e taglio su pannelli lisci in condizioni di post-buckling. Prove sperimentali su strutture aeronautiche in grafite/epoxy a secondo delle tesi di laurea in corso nel Dipartimento.

Completano il modulo una serie di visite guidate presso aziende aerospaziali dell'area torinese.

### **Bibliografia**

M. Di Sciuva Testi coordinati di analisi strutturale. Quaderno 3. Torino, 1998

Per consultazione:

T.H. Megson, "Aircraft Structures for Engineering Students", Edward Arnold.

D.O. Brush, B.O. Almroth, "Buckling of bars, plates and shells", McGraw-Hill Book Company, 1975.

G.J. Simitses, "An introduction to the elastic stability of structures", Prentice-Hall, Inc., 1976.

R.M. Rivello, "Theory and Analysis of Flight Structures.

E.F. Bruhn, "Analysis and Design of Flight Vehicle Structures

### **Esame**

L'esame consta di una prova scritta nella quale sono proposti tipici problemi di calcolo strutturale (es.: flussi in un cassone alare a seguito di taglio-torsione, deflessione alare come dai regolamenti, ecc.)



## 01ELZ DISEGNO I

Periodo:	1
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Giovanni PODDA, Stefano TORNINCASA</b> (Dip. Sistemi di Produzione ed Economia dell'Azienda), III corso docente da nominare.

---

### **Presentazione del corso**

Il linguaggio base di tutte le attività ingegneristiche è rappresentato, nella maggior parte dei casi, dal disegno che coinvolge l'ingegnere in due attività distinte: la modellazione e la comunicazione. Nell'attività di progettazione ed analisi di sistemi, processi ed impianti industriali, tipici dell'ingegneria industriale, l'ingegnere utilizza il disegno per la scelta della soluzione costruttiva, l'effettuazione dei calcoli di progetto, con le analisi tecnico-economiche comparate delle diverse soluzioni; in questo senso il disegno non si presenta solo come un'attività puramente grafica, ma come la sintesi dell'elevato patrimonio conoscitivo dell'ingegnere in un prodotto rispondente a delle specifiche funzionali, produttive ed economiche. Il modulo si propone pertanto di fornire agli allievi ingegneri le conoscenze e le metodologie necessarie alla modellazione ed alla rappresentazione grafica di elementi di macchine e loro insiemi, con particolare riferimento alla normativa nazionale ed internazionale.

### **COMPETENZE ATTESE**

Lo studente dovrà acquisire la capacità di rappresentare e quotare i più comuni organi di macchine, tenendo conto delle esigenze funzionali e produttive nonché di interpretare in modo univoco e corretto disegni di particolari e complessivi.

### **Prerequisiti**

Elementi essenziali di geometria euclidea piana e solida: proprietà delle rette dei triangoli, dei poligoni regolari, dei solidi, coni e cilindri. Nozioni di disegno tecnico affrontate nella Scuola media superiore, simbologia grafica, scale di rappresentazione, strumenti per il disegno, rappresentazione dei poligoni e dei solidi. Elementi di Geometria descrittiva: proiezioni ortografiche, assonometria.

### **Programma**

#### **INTRODUZIONE AL DISEGNO TECNICO**

Il disegno come linguaggio grafico per la comunicazione di informazioni tecniche. Collocazione del disegno nel ciclo di vita del prodotto. Il prototipo digitale.

Normazione ed unificazione nell'ambito del disegno tecnico: scale, formati dei fogli, linee e simbologia grafica.

#### **LE PROIEZIONI ORTOGONALI**

Le proiezioni di punti, segmenti e figure piane. Le proiezioni ortografiche di solidi e loro compenetrazione. Le sezioni e relative norme di rappresentazione. Le proiezioni assonometriche.

#### **LA QUOTATURA E LA RAPPRESENTAZIONE DEGLI ERRORI**

La quotatura funzionale e tecnologica. La disposizione delle quote e relative normative. I sistemi di quotatura. Le tolleranze dimensionali. Il sistema di tolleranze secondo la normativa ISO. I collegamenti foro-base ed albero-base. Catene di tolleranze. Finitura superficiale, rugosità e sua indicazione a disegno. Le tolleranze geometriche. Prescrizione, scelta dei riferimenti funzionali.

## ORGANI E COLLEGAMENTI MECCANICI

Organi filettati: definizioni. Sistemi di filettature e relative norme di rappresentazione e quotatura. Viti, bulloni, ghiera filettate e dispositivi antisvitamento.

Collegamenti albero-mozzo. Chiavette, linguette e profili scanalati. Rappresentazione di collegamenti saldati. Cuscinetti, cinghie, pulegge e ruote dentate.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Le esercitazioni consistono nella rappresentazione grafica (in modo tradizionale e mediante software di disegno assistito 2D e 3D parametrico) in assonometria ed in proiezione ortogonale quotata di parti o organi presentati singolarmente, o estratti da complessivi.

L'ultima tavola consiste in un elaborato (a scelta dell'allievo, da eseguire mediante software grafico 3D) da svolgere sui temi principali trattati nel corso e che verrà discusso durante la prova orale.

### **Bibliografia**

E. Chirone, S. Tornincasa, Disegno Tecnico Industriale, vol. I e II, ed. Il Capitello, 2000/1.

### **Controllo dell'apprendimento**

Le soluzioni delle tavole, i testi di verifica dell'apprendimento sono disponibili sul sito WEB del corso: <http://www.polito.it/servstud/matdid/diseagno> E-mail: [tornin@polito.it](mailto:tornin@polito.it), [podda@polito.it](mailto:podda@polito.it)

### **Esame**

L'esame consiste in una prova grafica, una prova orale (facoltativa), ed una valutazione delle esercitazioni (tavole) svolte durante il corso. Alla prova orale potranno essere ammessi solo gli allievi che avranno conseguito un voto non inferiore a 15/30 nella prova scritta.

Non è possibile sostenere l'esame (nè ottenere la frequenza) senza aver consegnato almeno l'80% delle tavole.

## 03ATF ELETTRONICA

Periodo:	4
Crediti:	4
Precedenze obbligatorie:	Elettrotecnica
Docente:	Leonardo REYNERI

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di fornire agli studenti i mezzi necessari a comprendere l'elettronica di base, sia analogica che digitale, e ad analizzare i circuiti tipicamente utilizzati in campo aeronautico. Fra questi, i sistemi per la misura di parametri fisici (velocità, accelerazione, forza, temperatura, ecc.), per l'attuazione (motori e solenoidi). Sono esclusi i sistemi di radiotrasmissione. Vengono anche presentate alcune problematiche relative alla compatibilità elettromagnetica e alle interferenze agli strumenti di bordo.

### **Prerequisiti**

Elettrotecnica, Fisica

### **Programma**

#### ELETTRONICA ANALOGICA

Componenti di base per l'elettronica: diodo, transistoro, amplificatore operazionale;

Circuiti a diodo: raddrizzatore, alimentatore, protezioni;

Circuiti a transistoro: amplificatore ad emettitore comune e a collettore comune;

Circuiti lineari con operazionale: amplificatore invertente e non, differenziale ideale, integratore, derivatore, filtri;

Circuiti non lineari con operazionale: comparatore di soglia, oscillatore

#### ELETTRONICA DIGITALE

Elementi di algebra di Boole: funzioni AND, OR e NOT

Operazioni logiche: sintesi di funzioni logiche, mappe di Karnaugh

Circuiti sequenziali: flip-flop, contatori, cenni di automi a stati

Conversione analogico-digitale

#### SENSORI

Principi di base sui sensori e condizionamento del segnale

Misure di forza: dinamometro (strain-gauge), accelerometro, misuratore di pressione, tachimetro ad effetto Venturi

Misure di velocità meccanica: encoder digitale e potenziometrico, tachimetro

Misure di temperatura e luminosità

#### ATTUATORI

Principi di attuazione: attuatori e condizionamento del segnale

Motori DC, brushless e stepper

Solenoidi

#### COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

Fonti di rumore elettrico ed elettromagnetico;

Induzione e accoppiamento elettromagnetico;

Emissioni elettromagnetiche, filtraggio, schermatura;

Suscettibilità e sua riduzione, schermatura;

## **Laboratori e/o esercitazioni**

Le esercitazioni in aula verteranno sull'analisi di circuiti tipici dell'elettronica analogica (amplificatori e filtri) e digitale (contatori ed automi a stati finiti), sull'utilizzo di sensori (accelerometri e dinamometri) ed attuatori (motori DC), considerando soprattutto alcuni casi tipici dell'industria aeronautica;

Le esercitazioni di laboratorio verteranno sul montaggio e misura di alcuni sensori e attuatori utilizzati in campo aeronautico

## **Bibliografia**

P.J. BEARDS, Elementi di elettronica analogica e digitale, Jackson Italia (il testo non copre interamente il programma; non esistono testi che lo coprano interamente)

## **Esame**

Esame scritto obbligatorio; voto max. 27 punti; l'impegno in laboratorio verrà valutato max. 2 punti; orale o tesina facoltativi (il risultato verrà sommato); è previsto un esonero scritto al termine del corso, senza limiti di voto.

## 07AUL ELETTRTECNICA

Periodo:	1/2
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Mario CHIAMPI

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di illustrare i concetti dei modelli circuitali e le basi della teoria dei circuiti finalizzando tali argomenti alle applicazioni in ambito industriale. A tal fine sono trattate le principali metodiche per l'analisi delle reti di bipoli lineari in regime stazionario, quasi stazionario periodico e transiente.

### **Prerequisiti**

Istituzioni di Matematica I e II, Fisica I e II

### **Programma**

Modello circuittale dei fenomeni elettromagnetici, Multipoli.  
Regimi di funzionamento. Metodo simbolico.  
Classificazione dei componenti ideali e loro proprietà. Considerazioni energetiche sui componenti ideali.  
Connessioni tra i componenti. Componenti reali.  
Metodi di analisi dei circuiti elettrici in regime permanente.  
Trasformazioni energetiche nei circuiti.  
Sistemi trifase: definizione, metodi di soluzione di circuiti trifase equilibrati, misura della potenza.  
Circuiti in regime transitorio: transistori del primo ordine, transistori del secondo ordine.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Sono previste esercitazioni di calcolo sugli argomenti del corso.

### **Bibliografia**

O. Bottauscio, A. Canova, M. Chiampi, Appunti del corso, Politeko, Torino  
I.D. Mayergoyz, W. Lawson, Basic electric circuit theory, Academic Press  
L. Oliveri, E. Ravelli, Elettrotecnica, CEDAM, Padova.

### **Esame**

L'esame consiste in un elaborato scritto e in una prova orale.

## 03EEP    **FISICA C**

Periodo:	3
Crediti:	2
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Paolo ALLIA</b>

---

### **Presentazione del corso**

Lo scopo del corso è di fornire agli studenti opportune integrazioni sulle nozioni di meccanica di base parzialmente sviluppate nel modulo di Fisica 1, con particolare riferimento a quegli argomenti più avanzati di meccanica del corpo rigido che risultano di maggior interesse per allievi ingegneri aerospaziali. Inoltre, verrà introdotto un concetto di grande rilevanza fondamentale ed applicativa quale quello della propagazione ondosa nella materia, con specifico riferimento alle onde acustiche ed all'acustica fisica.

### **Prerequisiti**

Fisica 1; Fisica 2 (ASP).

### **Programma**

Approfondimenti di meccanica del corpo rigido: equazioni canoniche della dinamica rotazionale; cenni alle rotazioni attorno ad assi qualsiasi. Moti giroscopici. Concetto di onda. L'equazione delle onde in una dimensione. Onde di pressione nei gas: onde sonore (velocità del suono, potenza, intensità). Sistemi vibranti e sorgenti sonore. Interferenza e battimenti. Onde stazionarie in una dimensione.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

esercitazioni di meccanica del corpo rigido e di acustica fisica

### **Bibliografia**

Halliday - Resnick: Fisica 1, e integrazione con appunti del docente

### **Esame**

È prevista una prova scritta integrabile da colloquio orale. Eventuali modifiche a questo schema saranno comunicate ad inizio corso.

## 07AXO FISICA I

Periodo:	3
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

---

### Programma

- 1) Grandezze, unità di misura ed equazioni dimensionali [Cap. 1] (2 h)
- 2) Misure ripetute, errori statistici, sistematici e strumentali. Valore medio. Enunciato del teorema del limite centrale. Errore relativo e percentuale. Grandezze funzioni di altre grandezze misurate. Propagazione dell'errore (4 h) Esercizi: (2 h)
- 3) Cinematica: vettore posizione, vettore velocità e vettore accelerazione. Traiettoria, velocità tangente alla traiettoria, e modulo della velocità. Moto dei gravi sulla superficie terrestre.(4h) [Cap. 2.6, 2.7,2.8, 2.9] Esercizi (2h)
- 4) Moti in coordinate intrinseche e cilindriche. Moti rotatori (2h) [Cap. 2.12,2.13,2.14] Esercizi (2h)
- 5) Sistemi di riferimento in moto traslatorio ed esercizi (2h) [Cap. 3.1,3.2,3.3]
- 6) Dinamica del punto: definizione di massa, densità di massa e di forza. I 3 principi della dinamica del punto. (4h) [Cap.4.1,4.2,4.3,4.4,4.5,4.6]
- 7) Forza gravitazionale e forza coulombiana; accelerazione sulla superficie terrestre ed esercizi (2h) [Cap. 4.7]
- 8) Forza elastica: moti armonici. ed esercizi (4h) [Cap.4.12]
- 9) Forze di attrito dinamico, statico, viscoso; reazione vincolare ed esercizi(6h) [Cap. 5]
- 10) Tensione della fune: carrucole fisse e mobili ed esercizi (4h) [Cap. 4.12]
- 11) Quantità di moto, impulso e teorema dell'impulso ed esercizi(2h) [Cap 8.1, 8.2]
- 12) Lavoro, potenza, energia cinetica e teorema delle forze vive. ed esercizi (4h) [Cap. 8.3,8.4]
- 13) Energia potenziale della forza peso, della forza coulombiana, della forza costante, della forza elastica. Campi conservativi e conservazione dell'energia meccanica. ed esercizi (4h) [Cap. 8.5,8.6, 8.7].
- 14) Momento angolare e momento della forza. Teorema della variazione del momento angolare. Forze centrali. Energia potenziale di un campo centrale (4h). [Cap. 9.1,9.2, 9.3, 9.4] Esercizi. (4h)
- 15) Dinamica dei sistemi: quantità di moto, energia cinetica, energia potenziale, momento angolare di un sistema di punti. Densità di massa. Centro di massa, quantità di moto del centro di massa. Forze interne e forze esterne. I equazione cardinale della dinamica dei sistemi. (4h) [Cap.10.1, 10.2, 10.3,10.4]
- 16) Momento delle forze agenti su un sistema. Lavoro delle forze agenti su di un sistema. II seconda equazione della dinamica dei sistemi. Teorema del lavoro per i sistemi. (2h) [Cap.10.5, 10.6]
- 17) Corpo rigido rotante attorno ad un asse fisso. Velocità angolare Momento di inerzia e teorema di Huyghens Steiner. Momento assiale. Energia cinetica di un solido rotante attorno ad un asse fisso. Teorema di Koenig per le rotazioni attorno ad assi non fissi ma mobili con direzione fissa. (4h). [Cap. 12.1,12.2,12.3,12.4,12.5]. Esercizi (4h)

### Bibliografia

Libro di testo consigliato: S. Rosati, Fisica Generale, Vol. 1 (suscttibile di variazione)

# 01EOB    **FISICA II PER AEROSPAZIALI**

Periodo:                                4  
Crediti:                                 4  
Precedenze obbligatorie:  
Docente:                                **Paolo ALLIA**

---

## **Presentazione del corso**

Lo scopo del corso è di fornire agli studenti nozioni fisiche di base su due classi di fenomeni di grande rilevanza per le successive applicazioni ingegneristiche nel settore, quali la termodinamica classica ed i campi elettrici e magnetici statici o lentamente variabili nel tempo. Verranno in particolare affrontati i meccanismi di trasmissione o propagazione dell'energia termica; i primi due principi della termodinamica; il concetto di campi di forze di natura elettrica e magnetica e dei loro effetti dinamici, nonché gli aspetti relativi alla produzione di tali campi statici o quasi-statici.

## **Prerequisiti**

Fisica 1.

## **Programma**

Definizione di gas perfetto. Definizione e natura delle grandezze termodinamiche. Termologia. Teoria cinetica dei gas.

Trasformazioni termodinamiche reversibili e irreversibili. Definizione di ciclo termodinamico. Energia interna e Primo principio della Termodinamica. Secondo principio della Termodinamica. Esempi di cicli termodinamici e loro rendimenti.

Carica elettrica. Forze di tipo elettrico. Campo elettrico statico. Potenziale elettrico.

Resistenza elettrica e correnti elettriche. Forze di tipo magnetico. Produzione di campi magnetici statici. Teorema di Ampere.

L'induzione elettromagnetica: legge di Lenz. L'induttanza.

## **Laboratori e/o esercitazioni**

Esperienze di elettrologia (ponte di Wheatstone) e magnetostatica (misurazione di campi magnetici)

## **Bibliografia**

Halliday - Resnick: Fisica 1, e integrazione con appunti del docente

## **Esame**

È prevista una prova scritta integrabile da colloquio orale. Eventuali modifiche a questo schema saranno comunicate ad inizio corso.



# 03BCJ GEOMETRIA I

Periodo:	4
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	Istituzioni di Analisi e Geometria
Docente:	da nominare

---

## **Presentazione del corso**

Scopo del corso è la presentazione dei principi fondamentali dell'algebra lineare e delle sue applicazioni allo studio della geometria.

Il corso si articola in lezioni ed esercitazioni. Materiale didattico per il lavoro individuale sarà disponibile in rete: la correzione degli esercizi sarà effettuata settimanalmente sotto la guida di studenti coadiutori.

Il docente è disponibile per consulenza secondo un orario che sarà reso noto all'inizio del corso.

## **Prerequisiti**

Contenuti del corso di Istituzioni di Analisi e Geometria

## **Programma**

Applicazioni lineari, autovalori e autovettori, cambi di base e diagonalizzazioni.

Cambiamenti di riferimento e coniche

Geometria analitica nello spazio: piani e rette, angoli e distanze, sfere e circonferenze, curve e superficie nello spazio (coni, cilindri, superficie di rotazione), cenni sulle quadriche

## **Laboratori e/o esercitazioni**

Esercitazioni svolte in aula.

## **Bibliografia**

Materiale didattico preparato dal docente; l'eventuale testo di riferimento sarà indicato dal docente all'inizio del corso.

## **Esame**

Scritto e orale.

# 01BFH IMPIANTI AEROSPAZIALI A

Periodo:	3/4
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

---

## **Presentazione del corso**

Il corso si propone anzitutto di introdurre gli Allievi alla metodologia della Progettazione Sistemistica, con esemplificazioni relative ai più importanti impianti (o, meglio, sottosistemi) di bordo; così facendo si fornirà una sintetica panoramica degli stessi sottosistemi.

L'approccio tenderà a favorire una visione fisica della fenomenologia coinvolta nei sistemi aeronautici e spaziali con la presentazione di semplici modelli di dimensionamento. Al raggiungimento dei suddetti obiettivi concorrerà fortemente l'attività di laboratorio volta all'utilizzo di CAD 3D con l'approccio, oggi obbligatorio nei campi tecnologicamente avanzati, alla progettazione basata sulla modellazione solida parametrica

## **Prerequisiti**

Fisica I e II - Istituzioni di Aeronautica - Termofluidodinamica - Elettrotecnica - Meccanica applicata

## **Programma**

Finalità e caratteristiche della Progettazione Sistemistica.

Esame dei sotto elencati impianti (o meglio sottosistemi) di bordo:

- Comandi di volo
- Carrello d'atterraggio
- Impianto idraulico
- Impianto elettrico
- Impianti pneumatico, condizionamento, anti-ghiaccio, A.P.U., avviamento motori
- Impianto combustibile
- Impianti vari (antincendio, LOX, arredamento, ecc.)
- Secondary Power System e UCS
- Principali tipologie di impianti per sistemi spaziali (velivoli transatmosferici, satelliti, moduli spaziali abitati)
- Cenni all'avionica

## **Laboratori e/o esercitazioni**

Per agevolare l'apprendimento saranno tenute esercitazioni in aula, comprendenti applicazioni numeriche in supporto alle lezioni.

Come attività di laboratorio si prevedono:

1) Laboratorio CAD 3D:

- per studi di definizione e progetto di meccanismi vari, tipici della sistemistica di bordo
- per definizione volumetrica dei principali componenti in vista di un loro futuro inserimento in un "mock-up" digitale

2) Laboratorio progettuale per studi da svilupparsi in piccoli gruppi su temi assegnati

## Bibliografia

Dispense del corso (lezioni ed esercitazioni)

S. CHIESA, Impianto idraulico. CLUT, Torino.

S. CHIESA, Impianto elettrico. CLUT, Torino.

S. CHIESA, Impianti pneumatico, condizionamento aria e anti-ghiaccio. CLUT, Torino.

S. CHIESA, Impianto combustibile. CLUT, Torino.

## Esame

Colloquio orale. Per coloro che hanno superato i gli accertamenti scritti l'esame verterà soltanto sulla discussione delle relazioni sulle attività di laboratorio CAD e del laboratorio progettuale, che verranno richieste, ed il voto finale risulterà dalla media dei voti riportati in ciascuna prova. Per coloro che non hanno superato uno o più accertamenti (o che non hanno potuto o ritenuto utile sfruttarne l'opportunità) l'esame finale verterà sulla parte del corso scoperta. L'esame orale sarà complessivo anche per coloro che, pur avendo sostenuto e superato uno o più accertamenti, avranno lasciato trascorrere tutti gli appelli dell'a.a. 2001/02 senza superare l'esame finale, fermo restando la validità delle relazioni scritte.

Condizione per il superamento dell'esame è la presentazione delle relazioni sulle esercitazioni di calcolo e di laboratorio.

## 03ECM INFORMATICA I

Periodo:	1/2
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

PROGRAMMA NON PERVENUTO.

### Prerequisiti

Matematica II - Informatica di base - Terzo anno di studi - Fisica - Chimica - Ingegneria elettronica

### Programma

Principi e caratteristiche della Programmazione Sistemistica.  
Sistemi di automazione digitale in tempo reale.  
Struttura di rete.  
Capitolo di dettaglio:  
- Architettura.  
- Memoria elettronica.  
- Registri, contatori, combinatori, reti logiche, ALU, governatore.  
- Interfacce periferiche.  
- Interfacce per l'utente: LSI, microprocessori, DSP.  
- Secondary Power Sources (LDC).  
- Principali Sistemi di automazione digitale: automazione industriale, automazione aerea, automazione navale.  
- Sistemi di automazione.  
- Sistemi di automazione.

### Laboratori ed esercitazioni

Per ogni parte dell'argomento verranno tenute esercitazioni in aula, comprendenti applicazioni numeriche di supporto alle lezioni.  
Ciclo attività di laboratorio di progetto:  
1) Laboratorio CAD 3D.  
- per la definizione e progetto di meccanismi vari, tipici della automazione industriale.  
- per la simulazione cinematica dei principali componenti di un loro futuro assemblaggio in un "mock-up" digitale.  
2) Laboratorio di automazione industriale per studi di automazione in piccoli gruppi di lavoro.

## 03EFJ ISTITUZIONI DI AERONAUTICA E SISTEMI SPAZIALI

Periodo:	4
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Sergio CHIESA (I corso) - Paolo MAGGIORE (II corso)

---

### Presentazione del corso

Scopo del corso è fornire una visione d'insieme del prodotto aeronautico e aerospaziale anche per anticipare scopo e collocazione delle discipline specialistiche che verranno affrontate nei due anni successivi, ma soprattutto per aiutare a comprendere e stabilire i necessari collegamenti logici tra i vari argomenti delle suddette discipline, nell'ottica della progettazione sistemistica.

L'approccio tenderà a favorire una visione fisica della fenomenologia coinvolta nei sistemi aeronautici e spaziali con la presentazione di semplici modelli matematici intesi a:

- fornire un certo grado di sensibilità agli ordini di grandezza e comprendere le motivazioni delle diverse scelte a livello di entità delle principali caratteristiche tecniche e architettoniche dei differenti tipi di velivoli e sistemi spaziali

- fare intravedere la tipologia dell'attività di modellazione matematica che assumerà, negli anni successivi, un ruolo preminente

- contribuire a spingere gli allievi ad applicare concetti e contenuti dei corsi di fisica

Da un altro punto di vista un contributo importante sarà dato dalle visite/presentazioni delle principali Industrie aerospaziali.

### Programma

Descrizione degli elementi costitutivi del velivolo e delle funzioni svolte: ala, fusoliera, impennaggi, gondole motrici, comandi di volo, carrello di atterraggio, sistemi di bordo e installazioni, propulsori; presentazione di architetture tipiche.

Velivolo inteso come corpo tridimensionale nello spazio, affetto dalle azioni agenti su di esso, funzione delle strutture e concetti di vincolo e gradi di libertà.

Generalità sulle azioni aerodinamiche: principio di reciprocità, fluido viscoso, corpi tozzi e corpi aerodinamici, profili alari, pianta alare, portanza e resistenza indotta, distribuzione di portanza, resistenza aerodinamica, momento aerodinamico, cenni al regime supersonico.

Ala, fusoliera ed impennaggi: funzioni svolte, stabilità statica longitudinale e direzionale.

Comandi di volo: comandi primari e secondari, compensazione dei comandi, trim, comandi potenziati, sensibilità artificiale.

Propulsione: tipologie di propulsori, confronto tra la propulsione ad elica e a getto, consumo specifico, installazione sul velivolo.

Carrello di atterraggio: architetture e funzioni, decollo, atterraggio e prescrizioni normative, distanza bilanciata di decollo.

Caratteristiche globali del velivolo: profili di missione, peso dell'aeroplano e sua suddivisione, fattore di contingenza, aria tipo internazionale, misure di velocità, prestazioni degli aeroplani.

Cenni sull'elicottero: sostentazione con ala rotante, problema del rotore in volo traslato, comandi e prestazioni dell'elicottero.

Sistemi spaziali: legge di gravitazione universale e principi di astrodinamica, lanciatori tradizionali, problematiche dei satelliti artificiali e del volo spaziale.

Cenni ai velivoli transatmosferici: problematiche del lancio, del rientro, del volo ipersonico e della propulsione.

Sottosistemi di un sistema spaziale: struttura, alimentazione, controllo orbitale e di assetto, controllo termico.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Le esercitazioni comprendono esercizi di calcolo proposti agli allievi e risolti in aula. Esse comprendono anche la visione ed il commento di alcuni filmati relativi alla visualizzazione di basilari fenomeni inerenti all'aerodinamica, alla meccanica del volo, ed alla strumentazione del velivolo.

Elaborazioni di semplici attività progettuali volte alla visione integrata di sistema

### **Bibliografia**

Dispense del Corso di Istituzioni di Aeronautica e Sistemi Aerospaziali

Raccolta di esercizi svolti correlati a quelli presentati nelle esercitazioni

Dispensa di guida allo sviluppo di semplici esercitazioni di progetto preliminare di un velivolo

### **Esame**

Colloquio orale. Per coloro che hanno superato i tre accertamenti scritti l'esame verterà soltanto sulla discussione delle relazioni scritte, che verranno richieste, ed il voto finale risulterà dalla media dei voti riportati in ciascuna prova. Per coloro che non hanno superato uno o più accertamenti (o che non hanno potuto o ritenuto utile sfruttarne l'opportunità) l'esame finale verterà sulla parte del corso scoperta. L'esame orale sarà complessivo anche per coloro che, pur avendo sostenuto e superato uno o più accertamenti, avranno lasciato trascorrere tutti gli appelli dell'a.a. 2001/02 senza superare l'esame finale, fermo restando la validità delle relazioni scritte.

# 01EMC ISTITUZIONI DI ANALISI E GEOMETRIA

Periodo: 2  
Crediti: 5  
Precedenze obbligatorie:  
Docente: da nominare

---

## Programma

Coordinate polari.  
Numeri complessi, equazioni differenziali del primo ordine e del secondo ordine lineari.  
Vettori del piano e dello spazio.  
Spazi vettoriali di dimensione finita.  
Matrici e determinanti.  
Sistemi lineari.  
Geometria analitica del piano: rappresentazione della retta, angoli e distanze, circonferenza.

## **04BOS    MECCANICA APPLICATA**

Periodo:	1/2
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

---

### ***Presentazione del corso***

Il corso è articolato indicativamente in trenta ore di lezione e trenta ore di esercitazione in aula o in laboratorio didattico.

Scopo del corso è fornire gli strumenti necessari per la conoscenza, l'identificazione e la modellazione dei fenomeni meccanici fondamentali, dei componenti e dei sistemi meccanici.

### ***Prerequisiti***

È richiesta la conoscenza dei contenuti dei corsi di Analisi Matematica e di Fisica.

Conoscenza dei principali componenti meccanici utilizzati nell'industria, capacità di realizzare modelli funzionali di dispositivi e sistemi meccanici, capacità di scelta dei componenti adatti ad applicazioni specifiche.

### ***Programma***

**CINEMATICA DEI MECCANISMI PIANI:** cinematica del corpo rigido, accoppiamenti tra corpi rigidi (coppia prismatica, coppia rotoidale, coppia a camma, coppia elicoidale), gradi di libertà, cinematica dei moti relativi, analisi cinematica di meccanismi articolati.

**FORZE NEI SISTEMI MECCANICI:** classificazione delle forze; reazioni vincolari, forze elastiche, forze viscosse; attrito: attrito radente, attrito volvente e relativi modelli fisici; equilibrio di un sistema meccanico.

**DINAMICA DEL CORPO RIGIDO NEL PIANO:** geometria delle masse, riduzione delle azioni d'inerzia, equazioni cardinali, lavoro ed energia, applicazioni a sistemi meccanici.

**SISTEMI VIBRANTI A UN GRADO DI LIBERTÀ:** vibrazioni libere senza e con smorzamento, vibrazioni forzate con forzante periodica senza e con smorzamento.

**DISPOSITIVI MECCANICI AD ATTRITO:** ipotesi dell'usura, freni a pattino, freni a tamburo (modelli a forze concentrate), freni a disco, freni a nastro, frizioni, analisi dinamica di sistemi frenanti e di sistemi con innesto a frizione.

**COMPONENTI PER LA TRASMISSIONE DEL MOTO:** giunti, flessibili, ruote dentate, rotismi ordinari ed epicicloidali, sistema vite-madrevite, supporti (a strisciamento, volventi e lubrificati); analisi dinamica di accoppiamenti motore-utilizzatore variamente interconnessi.

### ***Laboratori e/o esercitazioni***

Le esercitazioni in aula consistono nella risoluzione di esercizi riguardanti gli argomenti trattati nel corso.

Si prevede inoltre di svolgere alcune esercitazioni di laboratorio su banchi didattici sperimentali e al Laboratorio Informatico.



## Bibliografia

- C. Ferraresi, T. Raparelli, "Meccanica Applicata", Ed. CLUT, Torino, 1997.  
G. Belforte, "Meccanica Applicata alle Macchine", Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1997.  
G. Jacazio, S. Pastorelli, "Meccanica Applicata alle Macchine", Ed. Levrotto & Bella, Torino, in stampa.  
J.M. Meriam, L.G. Kraige, "Engineering Mechanics", Voll. 1-2, S.I. version, Wiley, N.Y., 1993.

## Esame

Compatibilmente con il numero di allievi e con la collocazione nel periodo didattico, sono previsti accertamenti in itinere in forma scritta, oppure un esame finale in forma orale o scritta.

### Prerequisiti

Scienze di chimica e fisica

### Programma

Caratterizzazione delle materie allo stato solido, effetti strutturali ed anisotropia. Costituenti e loro interazioni, variazioni di fase intermedie, fenomeni di solubilità nelle soluzioni solide, interazioni ed interdiffusione, fenomeni di crescita, porosità, iniezione. Generalità sui degradanti di stato, più comuni ed apprezzamento del loro utilizzo e controllo in caso applicativo del Tagliamento P-T-C.

Comportamento termico e meccanico dei materiali e sua dipendenza dal regime chimico, dalla composizione e dalle microstrutture del materiale.

Effetti dei difetti nel solido cristallino nel determinare specifiche proprietà elastiche, plastiche ed in modo classico, linee elastiche e resistenza a rottura, frattura e stabilità, crescita e frattura, scorrimento viscoso. In particolare si discuteranno il ruolo delle dislocazioni ed i meccanismi di rafforzamento.

Possibilità di intervenire sulle prestazioni meccaniche e funzionali dei materiali attraverso modificazioni composizionali, microstrutturali, lavorazioni meccaniche e termomeccaniche, trattamenti termici.

Generalità sui materiali metallici per applicazioni aeronautiche ed aerospaziali. Metodologie d'indagine e lavorazione dei materiali metallici tecniche di analisi di lavorazione meccanica, metodologie di deformazione, di trattamento superficiale e qualitativo.

Descrittive delle leghe ferrose e d'alluminio, di principio impiego nel settore dell'Aeronautica e dell'Aerospazio. Compositi, classificazione, proprietà ed applicazioni.

Generalità sui materiali compositi: tipi di fibra e di matrici, limitatamente ai compositi alle matrici polimeriche (PMC).

Metodologie di deformazione e struttura di compositi a matrice polimerica. Descrittive dei principali PMC, soprattutto a matrice termoplastica, nei settori aeronautiche ed aerospaziali.

## 01BPH MECCANICA DEL VOLO A

Periodo:	3/4
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

### Programma

- Le equazioni del moto nei sistemi di riferimento assi-corpo e assi-vento.
- Sistemi propulsivi, spinta e potenza disponibile, consumi specifici.
- Le prestazioni:
  - volo livellato, velocità a minima e massima, crociera;
  - autonomia chilometrica e oraria;
  - volo in salita e quota di tangenza;
  - volo in manovra.
- Decollo e atterraggio.
- Nozioni di stabilità a statica longitudinale e latero-direzionale.

### Programma

CINEMATICA DEI MECCANISMI PIANI: cinematica del corpo rigido, spostamento, velocità, accelerazione, rotazione, velocità angolare, accelerazione angolare, rapporto tra velocità e accelerazione tangenziale e radiale, velocità e accelerazione di un punto di un corpo rigido in moto piano.

FORTE NEI SISTEMI MECCANICI: classificazione delle forze, coppia, momento, forze di inerzia, forze d'inerzia d'ordine superiore, forze di inerzia d'ordine superiore, forze di inerzia d'ordine superiore.

DINAMICA DEL CORPO RIGIDO NEL PIANO: equazioni del moto, forze di inerzia, forze di inerzia d'ordine superiore, forze di inerzia d'ordine superiore.

SISTEMI VIBRANTI A UN GRADO DI LIBERTÀ: vibrazioni libere e forzate, vibrazioni libere e forzate, vibrazioni libere e forzate, vibrazioni libere e forzate.

COMPONENTI PER LA TRASMISSIONE DEL MOTTO: giunti, ingranaggi, ruote, cinghie, cinghie, cinghie, cinghie, cinghie, cinghie, cinghie, cinghie.

### Laboratori ed esercitazioni

Le esercitazioni in aula consistono nella risoluzione di esercizi riguardanti gli argomenti trattati nel corso.

Al presente inoltre di svolgere alcune esercitazioni di laboratorio ai fini della sperimentazione e di laboratorio.

Periodo:	1
Crediti:	4
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Laura MONTANARO

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di fornire una cultura tecnico-scientifica di base sui materiali per applicazioni aeronautiche ed aerospaziali, con particolare enfasi alle correlazioni esistenti tra struttura, microstruttura e prestazione del materiale, sottolineando quindi le potenzialità di progettazione con vecchi e nuovi materiali attraverso un controllo delle loro caratteristiche microstrutturali. Vengono in seguito approfonditi gli esempi di alcune leghe metalliche e di compositi a matrice polimerica di particolare rilevanza nel settore industriale d'interesse, con una sintetica descrizione delle più comuni tecnologie di trasformazione.

### **Prerequisiti**

Nozioni di chimica e fisica

### **Programma**

Organizzazione della materia allo stato solido; solidi cristallini ed amorfi. Strutture cristalline e loro imperfezioni: vacanze, difetti interstiziali, formazione di soluzioni solide sostituzionali ed interstiziali, dislocazioni, bordi di grano, pori ed inclusioni. Generalità sui diagrammi di stato più comuni ed apprendimento del loro utilizzo attraverso il caso applicativo del diagramma Fe-C.

Comportamento termico e meccanico dei materiali e sua dipendenza dal legame chimico, dalla composizione e dalla microstruttura del materiale.

Ruolo dei difetti dei solidi cristallini nel determinare specifiche proprietà: esemplificazione su modulo elastico, limite elastico e resistenza a rottura, tenacità e duttilità, tenacità a frattura, scorrimento viscoso,....In particolare si discuteranno il ruolo delle dislocazioni ed i meccanismi di rafforzamento.

Possibilità di intervenire sulle prestazioni meccaniche e funzionali dei materiali attraverso modificazioni composizionali, microstrutturali, lavorazioni meccaniche e termomeccaniche, trattamenti termici,...

Generalità sui materiali metallici per applicazioni aeronautiche ed aerospaziali. Metodologie d'elaborazione e formatura dei materiali metallici (tecniche di getto e di lavorazione meccanica, metodologie di deformazione, di trattamento superficiale e giunzione).

Descrittiva delle leghe ferrose e d'alluminio, di principale impiego nel settore dell'Aeronautica e dell'Aerospazio. Composizioni, classificazione, proprietà ed applicazioni.

Generalità sui materiali compositi: tipi di rinforzi e di matrici, limitatamente al settore delle matrici polimeriche (PMC).

Metodologie di elaborazione e formatura di compositi a matrice polimerica.

Descrittiva dei principali PMC, soprattutto a matrice termoindurente, per applicazioni aeronautiche ed aerospaziali.

## Bibliografia

L. Montanaro, S. Toppan, A. Borsarelli, "I materiali per l'ingegneria", Volumi 1 e 2, Celid, Torino (1999)

Alcune dispense integrative verranno proposte di volta in volta dal docente durante le lezioni.

## Esame

La valutazione si baserà su una prova scritta

## **02EMB STATISTICA I**

Periodo:	3
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

---

### ***Presentazione del corso***

Il corso si propone di far conoscere come deve essere impostata una corretta indagine statistica, e come devono essere interpretati i suoi risultati. Vengono esposti i metodi che permettono di dedurre, attraverso l'analisi di un numero limitato di osservazioni, le caratteristiche generali di svariati fenomeni aventi interesse applicativo nell'Ingegneria. Lo svolgimento degli argomenti affrontati è affiancato dalla esposizione degli elementi fondamentali del Calcolo delle Probabilità, la cui conoscenza è necessaria per lo studio della Statistica inferenziale.

### ***Prerequisiti***

Conoscenze di base degli argomenti dell'Analisi Matematica comprendenti: funzioni di una e due variabili reali e calcolo integrale.

### ***Programma***

Statistica descrittiva: concetti di popolazione e di campionamento. Distribuzioni di frequenze empiriche. Indici di tendenza centrale e di dispersione. Probabilità congiunte e marginali. Indipendenza e connessione. Regressione lineare.

Definizioni di probabilità e logica degli eventi. Regole di calcolo delle probabilità. Probabilità condizionata. Indipendenza stocastica. Formula di Bayes e teorema delle probabilità totali.

Distribuzioni univariate: funzione di ripartizione, di densità e momenti di variabili casuali continue e discrete. Legge normale. Modello di Bernoulli per le prove ripetute indipendenti e teoremi di asintoticità. Modello di Poisson per gli eventi rari. Altre distribuzioni notevoli in Probabilità e Statistica.

Modelli statistici. Distribuzioni campionarie delle medie, delle varianze e delle frequenze per campionamenti con e senza ripetizione. Stima puntuale di medie e varianze. Stima di massima verosimiglianza. Stima per intervalli di confidenza per la media e per la varianza.

Test parametrici di ipotesi statistiche: principi generali di un test statistico. Test parametrici con ipotesi semplici e composte. Test di Fisher e di incorrelazione.

### ***Laboratori e/o esercitazioni***

Sono proposti agli studenti problemi applicativi sugli argomenti svolti, e riguardanti: la statistica descrittiva; il calcolo delle probabilità; le variabili aleatorie; le stime di parametri e i test statistici.

È inoltre previsto un laboratorio per la presentazione e l'utilizzo di un package statistico, con interpretazione degli output per impiego diagnostico.

## Bibliografia

- Vicario G. - Levi R., Statistica e Probabilità per Ingegneri, Progetto Leonardo, Bologna, 2001.
- Varetto M. - Abate M., Eserciziario di statistica e probabilità per ingegneri, Progetto Leonardo, Bologna, 2001
- Ivchenko G. - Medvedev Y., Mathematical Statistics, Mir, Moskow, 1990.
- Dispense per il Laboratorio di Statistica.

## Esame

L'esame consiste nella discussione della correzione della prova scritta di controllo dell'apprendimento, e nella verbalizzazione della votazione finale riportata.

## 01EPU TERMOFLUIDODINAMICA

Periodo:	1/2
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

---

### **Presentazione del corso**

Nella formazione dell'ingegnere questo corso assume una funzione di cerniera tra le nozioni di base impartite nei corsi di Fisica del primo anno e quelle applicative degli insegnamenti successivi in cui scambi di forze e di energia tra fluidi e solidi giocano un ruolo essenziale. La prima parte del corso illustra le proprietà dei fluidi e le nozioni di base della fluidodinamica con particolare accento sulla presentazione dei fondamentali fenomenologici e dei numeri caratteristici. Una selezione di flussi rappresentativi a bassa velocità tipici dei vari regimi laminari, turbolenti e termici, sia liberi che guidati, guida l'allievo alla comprensione dei processi diffusivi e convettivi propri dei moti di fluido reale. Nella seconda parte del corso sono illustrati i fondamenti dei bilanci energetici applicati sia a sistemi che a volumi di controllo, nonché degli scambi termici tra correnti fluide a bassa velocità e pareti solide. Applicazioni basate su bilanci di massa, di quantità di moto, di momento della stessa e di energia in semplici dispositivi di uso ingegneristico in campo aeronautico e industriale sono studiate nelle ore di esercitazione.

Indicativamente il corso è articolato in trenta ore di lezione e trenta di esercitazione.

### **Prerequisiti**

Fisica C.

### **Programma**

Proprietà termodinamiche dei fluidi. Proprietà di trasporto molecolare: viscosità e conducibilità termica, numero di Prandtl. Comprimibilità. Velocità del suono e numero di Mach. Liquidi, gas e vapori. Legge di Clapeyron e diagramma di Mollier.

Statica dei fluidi: leggi di Pascal e di Stevino. Cenni di cinematica dei fluidi: bilanci di volume e di massa. Flussi uni-, bi- e tridimensionali. Bilanci di quantità di moto e di energia. Legge di Bernoulli e suo dominio di applicazione. Processi irreversibili e dissipativi. Flusso alla Couette.

Descrizione fenomenologica di alcuni flussi fondamentali e numeri caratteristici. Corrente a valle di un ostacolo cilindrico e numero di Reynolds. Genesis della convezione naturale e numero di Rayleigh. Strato limite su una parete piana: transizione laminare-turbolento. Flussi separati e scie. Flussi di mescolamento.

Conduzione termica. Strato limite termico e numero di Peclet. Convezione forzata e scambi termici a bassa velocità. Analogia di Reynolds, numeri di Grashof e di Nusselt. Scambi termici radianti.

Entalpia statica e totale. Bilanci energia-lavoro applicati sia a sistemi che a volumi di controllo. Bilanci energetici su sistemi fluidi soggetti a trasformazioni cicliche. Scambiatori termici e loro prestazioni. Metodo delle unità di trasferimento (NTU).

## Laboratori e/o esercitazioni

Misccele gassose: calcolo di concentrazioni volumetriche e ponderali e conversioni. Termodinamica dell'aria umida. Umidità assoluta e relativa.

Calcolo di pressioni statiche. Manometri. Equilibrio e stabilità statica dell'atmosfera.

Applicazioni del bilancio della quantità di moto. Getti. Gomiti. Applicazioni del teorema di Bernoulli. Tubo di Venturi e tubo di Pitot.

Perdite di carico nei condotti in regime laminare e turbolento. Diametro idraulico. Effetto della rugosità di parete.

Calcolo di flussi termici su pareti a contatto con fluidi in quiete e in movimento.

Applicazione di bilanci entalpici in correnti unidimensionali. Esempi di cicli termodinamici reali.

## Bibliografia

Appunti a cura del docente..

## Esame

È prevista una prova scritta integrata da colloquio orale. Eventuali modifiche a questo schema saranno comunicate ad inizio corso.



## IL CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA AERONAUTICA

### PROFILO PROFESSIONALE

#### DESCRIZIONE

La laurea è prevista per il corso di laurea in ingegneria aeronautica di tipo triennale. Il profilo professionale prevede competenze generali, acquisite con lo studio degli elementi fondamentali e particolari dell'ingegneria aeronautica e caratterizzanti il corso, per esempio: aerodinamica, propulsione, aerodinamica, disegno tecnico aeronautico, ecc. Si tratta quindi di un corso di laurea in ingegneria aeronautica che riguarda il prodotto "aerospaziale". Il corso di laurea prevede inoltre, progettato, costruito, conosciuto anche elementi relativi alla manutenzione dei voli. Di eccellenza appartiene e lo sviluppo di capacità di lavoro e di responsabilità tendente alla formazione di un'effettiva ingegneria di scienza.

#### Attività occupazionali

Attività lavorativa in campo aeronautico e spaziale, in particolare: progettazione, realizzazione, prova, gestione, manutenzione di sistemi di propulsione, aerodinamica, in aziende e organismi di ricerca e sviluppo, di attività, università ed istituti di ricerca. Da non escludere l'impiego in settori industriali.

### VECCHIO ORDINAMENTO

## ■ CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE ■

### PROFILO PROFESSIONALE

#### Obiettivo

La formazione prevista per il corso di laurea in ingegneria aerospaziale delinea una figura professionale avente competenze generali, acquisite con lo studio degli elementi teorici di base e peculiari attraverso le materie caratterizzanti il corso (aerodinamica, costruzioni aeronautiche, disegno tecnico aerospaziale, ecc...). Si tenga conto che è pertinenza dell'ingegnere aeronautico tutto ciò che riguarda il prodotto "aeromobile" il quale deve essere ideato, progettato, costruito, conoscendo anche elementi necessari per la valutazione dei costi. Di crescente importanza è lo sviluppo di capacità di integrazione che tendano alla formazione di un effettivo ingegnere di sistema.

#### Sbocchi occupazionali

Attività progettuale in campo aeronautico e spaziale, produzione e gestione del mezzo aereo. Attività da svolgersi essenzialmente presso aziende costruttrici di aeromobili nazionali ed internazionali o di componenti, in aziende o compagnie di gestione e servizi, in enti di controllo, università ed istituti di ricerca. Da non escludere l'impiego presso altri settori industriali.

## ■ TESI DI LAUREA

La tesi di laurea consiste nello svolgimento, sotto guida di un professore ufficiale, di un progetto o di uno studio di carattere tecnico o scientifico.

Gli allievi che hanno deciso di optare per tale tesi devono farne domanda al *Presidente dell'Area di Formazione in Ingegneria Aerospaziale* utilizzando un modulo giallo in distribuzione presso la Segreteria Didattica dell'Area Sud (corridoio lato Corso Einaudi), alla quale dovranno ugualmente riconsegnarlo, debitamente compilato e firmato dal docente relatore, almeno sei mesi prima della probabile discussione della tesi e comunque rispettando le date qui sotto elencate:

SESSIONE DI LAUREA		SCADENZA FOGLIO GIALLO	
I Sessione	marzo 2002	turno unico	21 settembre 2001
II Sessione	maggio 2002	I turno	23 novembre 2001
	luglio 2002	II turno	18 gennaio 2002
III Sessione	ottobre 2002	I turno	19 aprile 2002
	dicembre 2002	II turno	14 giugno 2002

In prossimità della Sessione di laurea, e seguendo le scadenze fissate dal Calendario dell'Anno Accademico riportate sulla Guida dello Studente, il laureando dovrà rivolgersi alla Segreteria Didattica dell'Area Sud per il ritiro e la riconsegna dei moduli relativi alla domanda di ammissione agli esami generali di laurea. Si ricorda che l'argomento della tesi deve essere identico a quello indicato nel foglio giallo presentato 6 mesi prima.

Una copia della tesi, firmata dal relatore e dallo studente stesso, deve essere consegnata alla Segreteria Didattica dell'Area Sud entro la data riportata sulla Guida dello Studente; una copia deve essere consegnata al/ai relatore/i; una copia deve essere portata alla seduta di laurea.

La tesi deve essere redatta su fogli di formato UNI A4. Si consiglia la stampa su ambedue le facciate della pagina.

## **B0050 AERODINAMICA**

Periodo: 1  
Crediti: 10  
Precedenze obbligatorie:  
Docente: **Fiorenzo QUORI**

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di fornire agli studenti le nozioni di base della fluidodinamica del fluido non viscoso. Con riguardo al corso di laurea nel quale è inquadrato, il corso tratta in modo particolare il problema della determinazione della distribuzione di pressione attorno a profili alari subsonici e supersonici nonché il calcolo dei relativi coefficienti di portanza, momento focale e resistenza d'onda (per moti supersonici). Vengono anche studiate le ali secondo lo schema di Prandtl.

### **Prerequisiti**

Sono necessarie le normali conoscenze di analisi matematica e di geometria analitica fornite dal biennio.

### **Programma**

Presentazione del corso. Definizioni di: fluido ideale e fluido reale, pressione, portata, viscosità e conducibilità termica, particella fluida. Classificazione dei moti. Nomenclatura per ali e profili alari. Distribuzione di pressione su un profilo alare e calcolo di portanza, resistenza e momento.

Trasposizione dei momenti. Fuoco e momento focale. Coefficienti adimensionali di forza e di momento e loro dipendenza dai numeri di Reynolds e di Mach.

Aerodinamica intuitiva. Linee di corrente, traiettorie, tubi di flusso. Andamento della velocità attorno ad un profilo alare. Cenni sullo strato limite e le sue caratteristiche: transizione, separazione.

La resistenza dei profili alari in fluido reale. Controllo dello strato limite.

Richiami di analisi matematica. Gradiente, divergenza, rotore: loro significati fisici e teoremi relativi. Derivata sostanziale e locale rispetto al tempo.

Equazioni fondamentali della fluidodinamica: circa 4 ore.

Equazioni di continuità, quantità di moto (Eulero), energia, entropia. Grandezze di arresto. Teoremi di Bernoulli e di Lagrange-Thomson. Trasformazioni isoentropiche.

Le funzioni di corrente e potenziale: circa 8 ore.

Significato fisico e condizioni di esistenza delle funzioni di corrente e potenziale, loro proprietà ed utilizzazione pratica. Calcolo delle espressioni analitiche di dette funzioni per: corrente uniforme, sorgente o pozzo, vortive, doppietta. Polidromia. Il cilindro circolare: campo di moto esterno. Determinazione dei punti di arresto e della distribuzione di pressione. Cilindro con circuitazione.

Teorema di Kutta-Joukowski.

Le trasformazioni conformi: circa 8 ore.

Richiami sui numeri complessi e sulle funzioni di variabile complessa. Regole di derivazione. Funzioni armoniche associate. Il potenziale complesso e la velocità complessa. Condizioni di conformità per una trasformazione. Punti critici. Conservazione del potenziale complesso. Origine della circuitazione. La condizione di Kutta. La trasformazione di Kutta-Joukowski. Studio della lamina piana, dell'arco di cerchio e di un

generico profilo di Joukowski. Cenni su altre trasformazioni e sulle trasformazioni inverse.

Teoria dei profili sottili subsonici: circa 8 ore.

Ipotesi di Glauert. Distribuzioni di sorgenti e di vortici bidimensionali. Calcolo delle velocità dovute a singolarità distribuite. Equazione di tangenza e coefficiente di pressione. Scelta delle singolarità atte a rappresentare un dato profilo. Profilo simmetrico investito senza incidenza.

Lamina curva investita con incidenza. Incidenza ideale e incidenza di portanza nulla. Profilo investito contemporaneamente da due correnti indisturbate. Problema inverso per profili sottili.

Il metodo dei pannelli: circa 2 ore.

Descrizione del metodo. Elementi geometrici di interesse. Distribuzione di sorgenti sui pannelli di un profilo non portante. Sistema di equazioni. Punti di controllo. Distribuzione di vortici sui pannelli di un profilo portante. Rispetto della condizione di Kutta.

Ali subsoniche di grande allungamento e piccola freccia: circa 10 ore.

Distribuzioni superficiali di vortici. Teoremi di Helmholtz. Legge di Biot e Savart. Vortice ad anello e vortice rettilineo semiindefinito. Vortici vicini e lontani da un dato punto e loro effetto. Superfici vorticosose aderenti e libere. Coefficiente di pressione nel caso di ali sottili. Superficie vorticosa atta a rappresentare un'ala. La scia. Lo schema di Prandtl. Velocità ed incidenza indotte. Calcolo della portanza e della resistenza indotta. L'equazione integro differenziale di Prandtl. Ala con distribuzione ellittica di circuitazione: calcolo di portanza e resistenza. Ala con distribuzione generica di circuitazione. Soluzione approssimata dell'equazione di Prandtl.

Fluido compressibile: circa 4 ore.

La velocità del suono. Relazione fra velocità del fluido e sezione del tubo di flusso. Sezione critica. Equazione del potenziale e sua linearizzazione. Condizioni di validità dell'equazione linearizzata. Correzione di Prandtl-Glauert per profili sottili in corrente subsonica di fluido compressibile. Il numero di Mach critico. Ali a freccia. Cenni sui profili supercritici.

Il metodo delle caratteristiche: circa 8 ore.

Direzioni caratteristiche e linee caratteristiche. Le linee caratteristiche in un campo di moto linearizzato. Angolo di Mach. Proprietà fondamentale delle linee caratteristiche. Studio di problemi di aerodinamica supersonica linearizzata con il metodo delle caratteristiche. Piano odografico. Espansioni e compressioni. Coefficiente di pressione. Studio di profili alari sottili supersonici. Riflessione di onde semplici: divergente supersonico e getti piani. Interfacce.

Espansione di Prandtl-Meyer: circa 2 ore.

Differenza fra espansioni e compressioni in teoria esatta. Odografia del moto per un'espansione e sua equazione. Caratteristiche rettilinee e loro proprietà. Confronto fra teoria esatta e linearizzata.

Le onde d'urto: circa 16 ore.

Onda piana di discontinuità finita. Relazioni di Rankine-Hugoniot. Aumento di entropia e conferma della validità della teoria linearizzata. Urto retto e relazioni dell'urto retto. Diminuzione della pressione di arresto. Urti obliqui e loro riduzione ad un urto retto. Relazione fra angolo di deviazione della corrente e angolo dell'urto. La polare d'urto: equazione e significato fisico. Urti deboli e urti forti. Deviazione limite. Relazione fra trofoide ed epicicloide. Confronto fra teoria esatta e linearizzata. Riflessione regolare di onde d'urto. Getto piano sovraespanso.

Studio completo di un profilo alare in teoria esatta. Interazione fra onde di espansione e onde d'urto.

## Laboratori e/o esercitazioni

Le esercitazioni consistono in problemi che seguono immediatamente le nozioni teoriche apprese. Il laboratorio consiste nel rilievo sperimentale, in piccola galleria del vento didattica, delle pressioni attorno ad un cilindro circolare e ad un modello di profilo NACA0015.

## Bibliografia

F. QUORI, Aerodinamica, Levrotto & Bella Editore.

R. ARINA & F. QUORI, Esercizi di Aerodinamica, Levrotto & Bella Editore.

## Esame

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso.

Per coloro che hanno superato la prova orale relativa al modulo A l'esame verterà soltanto sui contenuti del modulo B ed il voto finale risulterà dalla media pesata sui rispettivi numeri di crediti dei voti dei due moduli. Per coloro che non hanno superato la valutazione del modulo A (o che non hanno ritenuto di sfruttarne la possibilità) l'esame finale, orale, sarà unico.

## **B0052 AERODINAMICA II**

Periodo: 1  
Crediti: 10  
Precedenze obbligatorie:  
Docente: Maurizio PANDOLFI

---

### **Presentazione del corso**

Il corso presenta una struttura monografica ed intende introdurre lo studente nel settore della Fluidodinamica Numerica con riferimento ai moti di flusso compressibile, nei regimi non stazionario e stazionario supersonico.

Il corso è suddivisibile in due moduli: il primo modulo (A) è rivolto al problema scalare, ed il secondo (B) considera le equazioni di Eulero.

L'attenzione è rivolta sia alla interpretazione fisica dei fenomeni fluidodinamici che agli aspetti fondamentali per lo sviluppo di metodi numerici. Nel corso vengono fornite le basi per la comprensione di moderne procedure computazionali di larga applicazione negli studi e nei progetti aerodinamici.

Le esercitazioni prevedono l'uso di codici numerici specificamente concepiti ad uso didattico su PC, e si svolgono sia in aula che nel laboratorio informatico del DIASP.

### **Prerequisiti**

È opportuno che sia stato assimilato e ben compreso il contenuto del corso di Aerodinamica.

### **Programma**

Introduzione alle equazioni differenziali alle derivate parziali di tipo iperbolico.

Il problema scalare: equazione lineare ed equazione non-lineare; segnale, caratteristica, equazione di compatibilità; onda, dominio di dipendenza e condizione al contorno; il metodo della caratteristica. La legge di conservazione nel problema scalare; discontinuità, relazione di salto e condizioni di entropia. L'equazione scalare del traffico. Approssimazioni discrete alle differenze ed ai volumi finiti; schemi di accuratezza del primo e secondo ordine; discretizzazione upwind.

Equazioni del flusso supersonico stazionario assialsimmetrico su cono appuntito e loro integrazione numerica.

Il sistema delle equazioni di Eulero; flusso 1D non-stazionario e flusso 2D supersonico stazionario; la forma quasi lineare, la diagonalizzazione del sistema, segnali, caratteristiche, equazioni di compatibilità; campi ad onda semplice, interazione fra onde, condizioni al contorno; il metodo delle caratteristiche.

Le leggi di conservazione per il sistema di Eulero, onde d'urto e superficie di contatto, relazioni di salto e condizione di entropia. Interazioni fra discontinuità.

Costruzione di soluzioni esatte o approssimate con lo strumento analitico.

Formulazioni upwind per sistemi di leggi di conservazione e schemi di integrazione.

L'analogia idrodinamica ed il sistema per i moti d'acqua a basso fondale.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Analisi di due codici numerici: (1) soluzioni numeriche del problema scalare per diversi casi (equazioni differenziali, leggi di conservazione, dati iniziali, condizione ai contorni)

e procedure numeriche; costruzione di soluzioni analitiche e confronto critico con i risultati numerici del codice; (2) previsione del campo di moto supersonico stazionario su cono circolare senza incidenza. Sperimentazione numeriche.

Analisi di tre codici numerici: (1) previsione del campo di moto supersonico stazionario su cono circolare senza incidenza; (2) moti quasi-1D non-stazionari descritti dalle equazioni di Eulero con esempi di propagazione di discontinuità semplici; (3) moti quasi-1D non-stazionari descritti dalle equazioni di Eulero con esempi di transitori, tecniche time-dependent, interazioni fra discontinuità, influenza del metodo numerico sulla qualità dei risultati attraverso il confronto con soluzioni esatte o approssimate di riferimento.

## Esame

La valutazione è globale sui due moduli ed ha luogo al termine del semestre, in forma orale.



## **B0080 AERODINAMICA SPERIMENTALE**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Michele ONORATO</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso di Aerodinamica Sperimentale comporta lezioni in aula, esercitazioni nei laboratori e la stesura di una breve relazione sull'attività di laboratorio. Agli studenti saranno distribuite copie dei lucidi proiettati durante le lezioni.

### **Prerequisiti**

Aver superato l'esame di aerodinamica.

### **Programma**

Misura della pressione media e della velocità media; misura delle forze aerodinamiche (bilance); visualizzazione dei flussi. Similitudine dinamica. Gallerie del vento subsoniche, transoniche, supersoniche, ipersoniche. Misura di forze aerodinamiche tramite rilievi di pressione superficiale e di scia per corpi bidimensionali. Metodi empirici per la correzione delle tare dei supporti del modello e delle interferenze del modello con i supporti e le pareti della camera di prova. Valutazione della velocità di riferimento. Incertezza nella misura. Analisi del segnale. Introduzione all'uso di Lab View per l'acquisizione di dati sperimentali e la loro elaborazione preliminare. Introduzione all'uso di Mat Lab ed analisi numerica di dati sperimentali.

Instabilità e transizione. Emissione di vortici da strutture. Problematiche della sperimentazione nelle gallerie del vento subsoniche e transoniche: velocità di riferimento, effetto numero di Reynolds, effetto turbolenza vena, interferenze e tare dei supporti, interferenza delle pareti. La misura della velocità istantanea: anemometro a filo caldo, anemometro laser Doppler, visualizzazione quantitativa (cenni). Misura dello sforzo di attrito e relativo impianto di taratura. La galleria del vento numerica.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Esercitazioni sperimentali e proiezione di filmati relativi agli argomenti delle lezioni.

### **Bibliografia**

William H. Rae Jr. and Alan Pope "Low-Speed WindTunnel Testing", John Wiley and Sons.

### **Esame**

Al termine del primo emisemestre è possibile una valutazione scritta sui contenuti del modulo A, relativamente agli argomenti trattati nelle lezioni. In caso di esito favorevole i contenuti del modulo A non saranno più oggetto di verifica alla fine del semestre. Una discussione sui risultati delle sperimentazioni e sulle attività di laboratorio avverrà a fine corso. Questa valutazione parziale è possibile soltanto in questa occasione: lo studente che non la utilizzi o non la superi dovrà sottoporsi all'esame complessivo, tradizionale.

# **B0090 AEROELASTICITÀ APPLICATA**

Periodo: 2  
Crediti: 10  
Precedenze obbligatorie:  
Docente: Erasmo CARRERA

---

## **Presentazione del corso**

Il corso si propone di fornire la descrizione e la comprensione dei fenomeni legati all'interazione fra le forze aerodinamiche ed i corpi elastici. Sono considerati sia fenomeni di risposta sia fenomeni critici. Esso è in successione col corso di 'Principi di Aeroelasticità' di cui è la naturale continuazione. Sono trattati in maniera diffusa gli aspetti applicativi e computazionali dell'aeroelasticità. Sono considerati sistemi portanti realizzati in materiale tradizionale e composito. In particolare sono evidenziati i vantaggi che l'uso di composito comporta ai fini dell'allontanamento dei fenomeni critici. Si discute il caso di una pala di elicottero realizzata con materiale intelligente e si accenna ai temi della termoelasticità, della servoelasticità e della costruzione di modelli per prove di flutter.

## **Prerequisiti**

Principi Aeroelasticità

## **Programma**

Fenomenologia di alcuni fenomeni aeroelastici tipici della ingegneria aerospaziale meccanica e civile. Richiami sulla divergenza di sistemi portanti. Richiami sul flutter di sistemi portanti. Analisi di sistemi con pochi gradi di libertà. Conseguenza delle deformabilità delle superfici portanti sulle prestazioni del velivolo. Cenni alla meccanica del volo del velivolo deformabile.

Generalità sulla risposta dinamica dei sistemi. Risposta alla raffica di un velivolo. Metodi sperimentali per l'analisi della risposta dinamica. Cenni ai fenomeni nonlineari nella dinamica. Identificazione delle risposte specifiche di tipo aerodinamico. Impostazione generale di un problema di risposta aeroelastica dinamica. Studio della risposta singolare e sua relazione con il problema del flutter. Studio della risposta aeroelastica dinamica ad una raffica turbolenta. Spettro della risposta in un sistema binario costituito da un profilo alare soggetto a moti flessionali e torsionali accoppiati. Modelli per prove aeroelastiche. Generalità ed interesse. Analisi dimensionale, equazioni adimensionalizzate. Requisiti di similitudine e Pi theorem. Problematiche nella costruzione di un modello di flutter in similitudine. Costruzione e sperimentazione di un modello in similitudine aeroelastica.

Richiami sul metodo degli elementi finiti. Scritture di rigidezza di elementi semplici. Richiami sulle teorie e modelli per piastre sottili. Formulazione FEM di un elemento piastra in condizioni statiche. Formulazione FEM di elementi piani in condizioni dinamiche. Formulazione FEM di sistemi portanti in campo aeroelastico statico. Formulazione FEM di sistemi portanti in campo aeroelastico dinamico. Introduzione ai materiali compositi e loro interesse nel progetto aeroelastico di strutture aerospaziali. Esame delle caratteristiche meccaniche dei diversi materiali compositi e confronto con i materiali metallici. Formulazione FEM di rigidezza di piastre anisotrope. Esemplificazione del calcolo di rigidezza. Divergenza di sistemi alari affrontata co FEM.

Ali a freccia positiva, freccia negativa ed analisi del Tailoring sulla divergenza. Flutter di sistemi alari affrontati col FEM. Ali a freccia positiva, freccia negativa ed analisi del Tailoring sulle condizioni di flutter.

Impostazione generale di un tipico problema di aeroservoelasticità.

Problemi aeroelastici nelle turbomacchine, in particolare nei compressori assiali. Instabilità, sia generale che di forma in sezione, dei condotti trasportanti fluido pesante.

Aerothermoelasticità. Flutter di pannelli in campo ipersonico. Equazioni del flutter di pannelli nel caso della piston theory. Formulazione della matrice di smorzamento e rigidità aerodinamica.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Sarà sviluppato un codice agli elementi finiti per l'analisi di problemi aeroelastici per sistemi portanti in materiale composito

### **Bibliografia**

Appunti forniti dal docente.

### **Esame**

Due colloqui orali relativi ai programmi svolti nei due emiseestri.

## **B0510 CALCOLO NUMERICO**

Periodo: 2

Crediti: 10

Precedenze obbligatorie:

Docente: **Claudio CANUTO**

---

### **Presentazione del corso**

Il corso ha lo scopo di preparare gli allievi al trattamento numerico di modelli matematici di interesse ingegneristico.

Il corso consta di due moduli. Nel modulo A, si fornisce una prima alfabetizzazione sulle metodologie di base del calcolo numerico. Nel modulo B, si considerano vari modelli differenziali, alle derivate ordinarie e alle derivate parziali, che descrivono fenomeni fisiche di rilevante importanza nelle scienze ingegneristiche, e se ne affronta il trattamento numerico.

### **Prerequisiti**

I corsi di Matematica e Fisica del biennio. Capacità di programmare algoritmi di tipo matematico in uno dei linguaggi FORTRAN, C, PASCAL.

### **Programma**

- Errori nel trattamento numerico di problemi matematici.
- Metodi diretti per la risoluzione di un sistema lineare: sostituzione in avanti e all'indietro; metodo di eliminazione di Gauss e fattorizzazione LU di una matrice; pivoting, scaling ed effetto del condizionamento della matrice; propagazione degli errori; metodo di Choleski; calcolo dell'inversa di una matrice; matrici di riflessione di Householder, fattorizzazione QR di una matrice; decomposizione ai valori singolari di una matrice e pseudo-inversa di Moore-Penrose; metodo dei minimi quadrati.
- Calcolo di autovalori e autovettori di matrici: metodi del tipo potenza e varianti; forma di Hessemberg di una matrice; metodo QR.
- Risoluzione di equazioni nonlineari: metodi di punto fisso; metodi delle corde, delle secanti, di Newton; metodi per il calcolo di zeri di polinomi.
- Approssimazione di funzioni e dati: interpolazione di Lagrange mediante polinomi algebrici; approssimazione mediante funzioni splines; cenno ad altri tipi di approssimazione (trigonometrica, razionale).
- Derivazione e integrazione numerica: formule di derivazione numerica su nodi equispaziati e non; formule di Newton-Cotes; formule Gaussiane; metodi adattativi.
- Equazioni differenziali ordinarie I: generalità; metodi a un passo, espliciti e impliciti, esempi; errore locale di troncamento e di discretizzazione; ordine del metodo, consistenza e convergenza, influenza degli errori di arrotondamento; metodi di Runge-Kutta; scelta automatica del passo.
- Equazioni differenziali ordinarie II: metodi multipasso, esempi; consistenza, ordine, zero-stabilità e convergenza; metodi predictor-corrector; il problema della stabilità assoluta; metodi per sistemi stiff.
- Equazioni alle derivate parziali: generalità; problemi ellittici, parabolici, iperbolici; problemi ai valori al bordo e iniziali; esempi; proprietà qualitative delle soluzioni; metodi alle differenze finite e ai volumi finiti; formulazione variazionale di un problema ai valori al bordo e metodo degli elementi finiti.

- Metodi per sistemi sparsi; metodi di minimizzazione e ottimizzazione; metodi di discesa: gradiente semplice, gradiente coniugato e generalizzazioni; preconditionamento di una matrice; minimizzazione di un funzionale in una variabile; back-tracking; metodo della trust-region; metodi di tipo Powell.

- Applicazioni: formulazione di qualche semplice ma significativo modello matematico, tratto o dalla meccanica dei continui solidi, o dalla fluidodinamica, o dalla termodinamica; analisi delle sue proprietà; scelta di una o più tecniche di discretizzazione numerica, loro analisi numerica e conseguente implementazione su calcolatore.

## **Laboratori e/o esercitazioni**

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni mirano a dare allo studente le capacità di utilizzare in pratica gli algoritmi visti a lezione. Per ognuno degli argomenti svolti a lezione vengono forniti esempi, eventualmente contro-esempi, vengono illustrati nel dettaglio casi particolari e/o situazioni singolari. Alcuni esercizi richiedono soltanto una elaborazione matematica da parte dello studente, altri esercizi conducono alla scrittura di brevi programmi.

### *Laboratori*

Implementazione su calcolatore e sperimentazione di algoritmi di calcolo numerico. Si userà in particolare l'ambiente di sviluppo MATLAB; per i problemi più complessi, si potrà fare ricorso a uno dei grandi pacchetti software ora ampiamente disponibili.

## **Bibliografia**

G. Monegato, Fondamenti di Calcolo Numerico, CLUT, Torino, 1998.

V. Comincioli, Analisi Numerica: Metodi, Modelli, Applicazioni, McGraw-Hill, Milano, 1995.

A. Quarteroni, R. Sacco e F. Saleri, Matematica Numerica, Springer Verlag Italia, Milano, 1998.

The Mathworks, Inc., Using MATLAB, 1997.

## **Esame**

Accertamento orale individuale su tutti gli argomenti trattati. Tale accertamento può essere sostituito dalla discussione dei contenuti di due relazioni scritte, relative alla risoluzione numerica di problemi assegnati dal docente, per i soli studenti che hanno frequentato il modulo. Le relazioni possono essere svolte in gruppo, fino a un massimo di tre studenti per gruppo. Questa modalità di esame è valida soltanto per tutte le sessioni di esame che si tengono nello stesso anno solare in cui lo studente ha frequentato il corso.

## **B0940 COSTRUZIONE DI MACCHINE**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Muzio GOLA</b>

---

### ***Presentazione del corso***

Vengono fornite le basi metodologiche per giudicare della resistenza e della sicurezza di componenti e sistemi meccanici sottoposti all'azione di sollecitazioni sia costanti sia variabili nel tempo.

Inoltre, l'allievo viene esposto ad alcuni problemi speciali che richiedono l'applicazione di tali basi (collegamenti a filettati e saldati, cuscinetti a rotolamento, collegamento forzati, dischi di turbina, ruote dentate, molle) e che contemporaneamente richiedono nozioni sui procedimenti costruttivi, sulle condizioni di verifica e accettazione, sulle problematiche specifiche che condizionano le configurazioni preferite di tali componenti o sistemi e i parametri da assumersi ai fini del calcolo. In questo modo si espone l'allievo a riflettere sulla interdipendenza tra tutti i fattori che condizionano la progettazione e la costruzione di componenti di macchine; essenziali a questo fine sono le esercitazioni, di taglio quanto più possibile professionalizzante, e le - forzatamente - limitate esperienze di laboratorio sui controlli non distruttivi. Si intendono sviluppare nell'allievo sia le conoscenze di base e applicate sia l'abilità di affrontare classi di problemi che si incontrano comunemente in pratica. Viene data enfasi ad applicazioni aero nautiche.

L'insegnamento è diviso in due moduli al termine di ciascuno dei quali è possibile una separata valutazione.

### ***Prerequisiti***

Scienza delle Costruzioni; Meccanica Applicata.

### ***Programma***

A- Deduzione grafica dei cerchi di Mohr in tre dimensioni e loro utilizzazione ai fini della rappresentazione dello stato di tensione - cedimento duttile e fragile, resistenza dei materiali, ipotesi di cedimento per materiali duttili e fragili. (3 ore)

B - Fatica dei materiali da costruzione: fenomenologia e storia delle indagini sulla fatica; macchine e modalità di prova; diagrammi di uso più frequente (Haigh, Goodman-Smith, Moore); effetto d'intaglio e fatica: approccio elementare, teoria del volume elementare, gradiente relativo; retta di funzionamento; effetto delle dimensioni e del gradiente; Gough e Pollard; verifica della durata a rottura: fatica cumulata (Miner); effetti delle condizioni superficiali derivanti da lavorazioni meccaniche e da trattamenti termici; dispersione e coefficienti di sicurezza. (6 ore)

C - Cinematica del corpo rigido e del corpo deformabile; tensore della deformazione; significato fisico del tensore della deformazione, decomposizione polare e definizione linearizzata; estensimetria, caratteristiche degli estensimetri, influenza della temperatura e della deformazione; tipi di montaggio e collegamento elettrico, compensazione, rosette. (4 ore)

D - Distribuzione delle sollecitazioni sui cordoni saldati; verifica statica dei cordoni d'angolo; formule ISO e formulazione CNR-UNI; deduzione e utilizzazione; calcolo ISO-

UNI e calcolo ASME dei giunti saldati di testa; calcolo ISO-UNI dei cordoni d'angolo con riferimento alla CNR-UNI 10011/88 (statico e a fatica); fatica cumulata, range pair, rainflow. (4 ore)

E - Collegamento smontabile mediante viti; tipi di filettatura, strumenti per il serraggio controllato; coppie di serraggio, incertezza; diagramma di forzamento; calcolo a resistenza statico e a fatica di un accoppiamento avvitato; distribuzione dei carichi sui filetti; classi dei materiali per viti e madreviti. (4 ore)

F - Dischi e tubi sollecitati con simmetria rotatoria; equazioni in campo elastico e in campo parzialmente plasticizzato; caso dell'accoppiamento forzato mozzo-albero e relazioni tra il calcolo ed il sistema ISO di accoppiamenti unificati; effetto della rugosità; dischi rotanti, particolare riferimento ai dischi di turbina; disco di uniforme resistenza; dischi profilati e con corona di palette. (6 ore)

Principali procedimenti di saldatura elettrica (elettrodo manuale, MIG, TIG, arco sommerso); certificazione dei procedimenti e degli operatori (PQR, WPS, WPQ); preparazione delle lamiere; origini dei principali difetti delle saldature, come evitarli; difettologia, particolare riferimento a fusioni e a giunti saldati; indicazioni normative per l'accettabilità dei difetti (UNI, ISO, ASME); relazione fra difettosità e calcolo a resistenza; principali metodi per la rilevazione dei difetti (raggi X, ultrasuoni, magnetoscopia, liquidi penetranti); basi della misura ultrasonica. (4 ore)

Teoria del problema di contatto localizzato, soluzione di Hertz; calcolo delle tensioni di contatto, pressioni limite di contatto; ingegnerizzazione del contatto hertziano. (4 ore)

Problemi speciali dei cuscinetti a rotolamento; scelta e calcolo da catalogo; effetto del gioco nella ripartizione del carico; teoria di Stribeck; carico equivalente per carichi variabili; problemi speciali dei cuscinetti per impiego aeronautico (distribuzione di carico per diversi tipi di cuscinetti e di accostamenti); calcolo di cuscinetti ad alta velocità di rotazione. (4 ore)

Calcolo dei denti degli ingranaggi - spostamento dei profili; taglio e ingranamento, ruote "zero" e accoppiamenti; strisciamento specifico; calcolo dei denti degli ingranaggi: problemi di fatica, usura, pressione Hertziana. (4 ore)

Meccanica della frattura, storia e fenomenologia; impostazione di Griffith, contributo di Westergaard; fattore di intensificazione delle tensioni, valori critici caratteristici dei materiali; meccanica della frattura lineare elastica, suoi limiti, sperimentazione; meccanica della frattura e fatica, crescita della cricca, piani di controllo; effetto di ritardo (Wheeler); clipping e troncamento. (3 ore)

Problemi speciali e tecnologie costruttive delle molle; materiali e trattamenti; relazione con la resistenza a fatica; molle di torsione e di flessione; calcolo a deformazione e a resistenza (statica e fatica). (4 ore)

(Solo per chi sosterrà l'esame orale) Uso degli invarianti e legge di Hooke; nesso tra ipotesi di Tresca e Von Mises; distribuzione di carico sui filetti di una vite (Madushka / Birger) e resistenza a fatica. (4 ore)

### **Laboratori e/o esercitazioni**

A1 - Formazione squadre, introduzione all'insegnamento, modalità di svolgimento delle esercitazioni. Esercizi di riepilogo riguardanti i requisiti minimi sul calcolo strutturale e la resistenza dei materiali. Esercizi su stato di tensione, sollecitazione e resistenza dei materiali, cerchi di Mohr. (2 ore)

A2 - Applicazione al calcolo di resistenza - contro cedimento a tensione massima - di un albero di trasmissione recante ruote dentate elicoidali; redazione di una breve relazione tecnica di verifica del detto albero. (4 ore)

B - Costruzione dei diagrammi di Woehler, Haigh, Goodman-Smith, Moore. Applicazione al calcolo di resistenza a fatica di un albero di trasmissione recante ruote dentate elicoidali. Continua relazione tecnica di verifica. Diagnosi di fatica con esame visuale di diversi tipi di rottura; esame comparativo di pezzi meccanici duttili e fragili rotti staticamente (a gruppi di squadre). (4 ore)

C - aula, esercizi su estensimetria; laboratorio di estensimetria organizzato su prenotazione, sotto forma di LABORATORIO APERTO. (6 ORE)

D - Esercizi sul calcolo di cordoni di saldatura d'angolo: sollecitazioni statiche e sollecitazioni di fatica; esercizi sul calcolo di saldature di testa. (4 ore)

E - Calcolo completo di un accoppiamento avvitato, statico e a fatica, con redazione di relazione tecnica. (4 ore)

F1 - Calcolo di un accoppiamento mozzo-albero con interferenza. (4 ore)

F2 - Calcolo di dischi rotanti per turbomacchine. (4 ore)

Laboratorio di misure ultrasoniche organizzato su prenotazione, sotto forma di LABORATORIO APERTO. (2 ore)

Calcolo delle tensioni di contatto fra gli elementi di cuscinetti a rulli e a sfere; esercizi sul calcolo di cuscinetti a catalogo, carichi variabili. (4 ore)

Calcolo di un cuscinetto a rulli ad alta velocità per motore aeronautico, con calettamento a interferenza sulle sedi e dilatazioni termiche; redazione di relazione tecnica. (4 ore)

Calcolo di resistenza di un ingranaggio a profili spostati; strisciamento specifico; spostamento dei profili ai fini della diminuzione della sollecitazione di fatica. (4 ore)

Esercizi sul calcolo di resistenza meccanica della frattura lineare elastica, con carichi sia costanti sia variabili. (4 ore)

Calcolo di molle di flessione e di torsione. (4 ore)

Compito simulato (ridotto per 2 ore); correzione pubblica del compito. (4 ore)

## **Bibliografia**

Il materiale didattico è distribuito su un grande numero di testi; per evidenti ragioni pratiche vengono forniti prima delle lezioni appunti redatti dal docente, che contengono anche le necessarie citazioni bibliografiche.

## **Esame**

- Esame finale scritto, composto di 48 (moduli A+B) quesiti dei quali:

32 (16 mod. A, 16 mod. B) domande sugli argomenti di teoria illustrati a lezione, tre risposte da scegliere con la seguente regola di punteggio: risposta giusta -> 1 punto, risposta omessa -> 0 punti, risposta errata -> -1/2 punti; 16 esercizi elementari (8 mod. A, 8 mod. B - tipicamente coinvolgenti una formula sola o un solo diagramma) con una risposta numerica, con la seguente regola di punteggio: risposta giusta entro una fascia del 5% -> 2 punti, risposta omessa o errata -> 0 punti.

- Passaggio da punteggio a voto: in base a curve di distribuzione statistica derivate da precedente esperienza: voto = punti x 5/8, corrispondente a 30/30 sul 75% del massimo di punti (72).

- L'esaminando avrà la possibilità di controllare la correzione del suo elaborato e la formazione del voto; durante una sessione correzione/verifica orale discuterà con il docente lo svolgimento di esercizi che contengano esclusivamente errori di calcolo, segnalando la eventuale correttezza del procedimento e giustificandola; ciò potrà consentire, a discrezione del docente, il recupero anche totale del punteggio corrispondente.



- Se il voto della prova scritta è inferiore a 27/30 (escluso) l'allievo potrà trasformarlo direttamente in voto definitivo. L'allievo che lo desidera può comunque sostenere la prova orale. Per ottenere voti uguali o maggiori di 27/30 l'allievo si deve sottoporre anche alla prova orale. In ogni caso prova scritta ed eventuale prova orale verranno mediate. I testi delle esercitazioni distribuiti in aula e l'eventuale materiale di supporto dovranno essere accompagnati dalla risoluzione dettagliata dei problemi proposti e raccolti in una "relazione", in versione unica per la squadra (composta di non oltre 3 allievi). La relazione sarà oggetto di un colloquio finale prima della definizione del voto del modulo o dell'esame finale: l'allievo dovrà dimostrarne la conoscenza.

Per coloro che hanno superato la prova scritta relativa al modulo A l'esame verterà soltanto sui contenuti del modulo B ed il voto finale risulterà dalla media pesata sui rispettivi numeri di crediti dei voti dei due moduli. Per coloro che non hanno superato la valutazione del modulo A (o che non hanno ritenuto di sfruttarne la possibilità) l'esame finale sarà unico.

## **B1030 COSTRUZIONI AERONAUTICHE**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Marco DI SCIUVA</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si caratterizza per un forte, anche se non esclusivo, contenuto strutturale. L'obiettivo è fornire una descrizione dettagliata del sistema velivolo, una solida preparazione di base e un'adeguata conoscenza delle moderne tecniche di calcolo delle strutture aeronautiche, con particolare riferimento al metodo degli elementi finiti. L'allievo alla fine del corso dovrebbe essere in grado di effettuare analisi strutturali mediante i modelli comportamentali semplificati della trave e del semiguscio ideale, entrambi in grado di cogliere i modi primari di propagazione dei carichi all'interno delle strutture (modulo A), e analisi strutturali di dettaglio con il metodo degli elementi finiti, anche con riferimento ai materiali compositi e ai problemi di stabilità elastica (modulo B). Completa il corso una serie di visite guidate presso aziende aerospaziali dell'area torinese e presso il museo dell'aeronautica del DIASP.

### **Prerequisiti**

Scienza delle Costruzioni - Meccanica applicata - Meccanica del volo.

### **Programma**

Introduzione al Corso. Contenuti. Modalità di esame.

Classificazione degli aeromobili.

Condizioni di sicurezza strutturale. Il progetto strutturale: il tema e i requisiti di specifica. Le funzioni della struttura. Il compito dell'analisi strutturale. Livelli di carichi di progetto.

Prescrizioni di robustezza, rigidità, elasticità. Concetto di struttura safelife e failsafe. Determinazione dei carichi. Classificazione dei carichi: statici, quasistatici e dinamici. Carichi sollecitanti in volo. Coefficienti di contingenza. Campo di sicurezza assoluto e campo di sicurezza regolamentare. Ripartizione della portanza tra l'ala e la coda. Brusca manovra longitudinale.

Carichi termici. Principali effetti della temperatura sulle strutture.

Elementi strutturali: sollecitazioni tipiche e soluzioni usuali. Schema a trave dei principali elementi costituenti la struttura di un velivolo. Sollecitazioni tipiche agenti sull'ala, sugli impennaggi e sulla fusoliera. Ala e impennaggi: longheroni e centine; rivestimenti, nervati e non; pannelli sandwich; attacchi a sforzi concentrati e diluiti; ali rastremate e/o a freccia. Fusoliera: strutture reticolari e a semiguscio. Collegamenti alafusoliera, impennaggifusoliera e relative superfici mobili.

Teoria elementare del semiguscio. Le strutture a guscio e a guscio rinforzato (semiguscio): le funzioni dei vari elementi. Ipotesi del semiguscio ideale. Il concetto di striscia collaborante. Richiami sulla flessione, torsione e taglio. Formule di Bredt. Stato di sollecitazione negli irrigidimenti di una sezione a semiguscio sollecitata a sforzo normale e momento flettente. Stato di sollecitazione nei pannelli e gradiente di torsione in una sezione a semiguscio sollecitata a 35.taglio e/o torsione: pannelli curvi sede di flusso

di taglio costante; centro di taglio; sezione a semiguscio aperta sollecitata a taglio; sezione a semiguscio monocella sollecitata a taglio e/o torsione; sezione a semiguscio multicella sollecitata a taglio e/o torsione. Stato di sollecitazione nei correnti e nei pannelli delle travi a semiguscio rastremate.

La stabilità elastica. Concetti, definizioni e criteri. Rassegna fotografica di fenomeni di cedimento strutturale per instabilità dell'equilibrio. Studio della stabilità di alcuni modelli elementari.

Effetto delle imperfezioni di forma. Analisi non lineare e linearizzata della stabilità. Il concetto di punto limite e di punto di biforcazione. Stabilità delle aste compresse; Equazioni di stabilità linearizzata. Carichi critici: per instabilità generale (aste lunghe e corte), locale e flessotorsionale.

Stabilità delle piastre sottili (modello piastra di Kirchhoff): Nonlinearità di tipo geometrico; ipotesi di von Kármán. Equazioni di stabilità per sollecitazione di compressione biassiale e taglio. Alcuni risultati analitici sulle piastre rettangolari isotrope (uso di tabelle e grafici). Piastra piana sollecitata a compressione e semplicemente appoggiata su tutti i lati. Altre condizioni di vincolo. Comportamento postcritico.

Il concetto di striscia collaborante nelle piastre compresse. Stabilità elastica delle piastre sollecitate a taglio puro. Campo di tensione diagonale completo e parziale. Deformabilità dei pannelli sollecitati a taglio. Condizioni di carico combinate. Estensione della trattazione al caso delle piastre irrigidite, sandwich e multistrato.

Il metodo degli elementi finiti. Introduzione al metodo degli elementi finiti. Fondamenti del metodo: i polinomi interpolatori; la matrice di rigidità e il vettore dei carichi nodali dell'elemento; l'assemblaggio; il calcolo degli spostamenti, delle deformazioni e delle tensioni. Elemento finito asta, trave, membrana triangolare e quadrilatero in stato piano di deformazione, piastra quadrangolare in stato piano di tensione, solido parallelepipedo. Cenni sui principali codici di calcolo. Esempi di applicazioni e considerazioni conclusive.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Esercitazioni di calcolo: Presentazione della struttura del velivolo oggetto di calcolo nelle successive esercitazioni. Lettura e commento della Normativa: carichi sollecitanti in volo; coefficiente di contingenza; campo di sicurezza regolamentare; carichi da raffica. Tracciamento dei diagrammi di mano vira, di raffica e inviluppo. Calcolo della ripartizione della portanza tra l'ala e la coda; tracciamento dei diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione lungo l'asse della semiala e della fusoliera, per una pre scelta condizione di carico. Calcolo dello stato di sollecitazione per flessione nei correnti di una prescelta sezione alare. Calcolo dei flussi di taglio nei pannelli di una sezione alare. Unioni: tipologia e modi di cedimento. Verifica di un attacco alare a sforzi concentrati. Esercitazioni di laboratorio strutture: Rilievi sperimentali di deformazioni e gradienti di torsione in un cassone sottoposto a torsione. Confronto con risultati analitici.

Visite guidate Completa il modulo una serie di visite guidate presso aziende aerospaziali dell'area torinese.

Esercitazioni di calcolo: Verifica di stabilità di aste a parete sottile aperta compresse. Verifica di stabilità di pannelli compressi. Verifica di stabilità di pannelli sollecitati a taglio.

Esercitazioni di laboratorio computazionale (applicazione del metodo degli elementi finiti): Analisi staticodeformativa della struttura di un tronco di fusoliera reticolare. Analisi staticodeformativa di una semiala a sbalzo e a rigidità variabile. Analisi staticodeformativa di una piastra forata.

## Visite guidate

Completa il modulo una serie di visite guidate presso i laboratori CAD/CAE di aziende aerospaziali dell'area torinese.

## Bibliografia

- M. Di Sciuva Testi coordinati di analisi strutturale. Quaderni 1 e 2. Torino, 1998.  
M. Di Sciuva Testi coordinati di analisi strutturale. Quaderno 3. Torino, 1998  
M. Di Sciuva Introduzione al metodo degli elementi finiti, Torino, 1998.  
Per consultazione:  
T.H.G. Megson Aircraft structures for engineering students, Arnold, 1990.  
E. F. Bruhn Analysis and design of flight vehicle structures, Tri-State Offset Company, Cincinnati, Ohio, 1969.  
A. Lausetti Aeroplani, Levrotto & Bella, Torino, 1964.  
D.O. Brush, B.O. Almroth Buckling of bars, plates and shells, McGraw-Hill Book Company, 1975.  
G.J. Simitses An introduction to the elastic stability of structures, Prentice-Hall, Inc., 1976.  
T.Y. Yang Finite element structural analysis, Prentice-Hall, Inc., 1986.

## Esame

Consiste in una prova scritta (sul contenuto del modulo A) e una orale su tutto il programma del Corso. Per essere ammessi alla prova orale bisogna aver superato la prova scritta. Il candidato che abbia superato la prova scritta, ha diritto a sostenere la prova orale negli appelli previsti per la sessione in cui ha superato la prova scritta, secondo le modalità stabilite dalla Facoltà.

La prova scritta prevista alla fine del primo semestre è da considerare come prova scritta del primo appello subito dopo la chiusura del corso.

Il voto finale risulterà dalla media pesata sui rispettivi numeri di crediti dei voti dei due moduli.

Concorre alla formulazione del giudizio finale anche la valutazione delle relazioni sulle esercitazioni.

## **B1032 COSTRUZIONI AERONAUTICHE II**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Giuseppe SURACE</b>

---

### ***Presentazione del corso***

Lo scopo principale del corso è di insegnare agli studenti ad affrontare il calcolo delle strutture aeronautiche ed aerospaziali utilizzando i metodi moderni di indagine. Si ritiene consigliabile la frequenza a chi sia interessato a problemi statici e dinamici di strutture complesse variamente sollecitate. Troveranno un completo inserimento quegli studenti che hanno spiccate attitudini alla scienza delle costruzioni, alla matematica applicata e alla programmazione.

### ***Prerequisiti***

Scienza delle Costruzioni, Calcolo Numerico e Programmazione, Meccanica Applicata, Costruzioni Aeronautiche, Aerodinamica.

### ***Programma***

- Algebra matriciale.
- Analisi statica delle strutture aerospaziali, utilizzando il metodo degli elementi finiti.
- Meccanica delle vibrazioni lineari dei sistemi elastici ad 1, 2, ed N gradi di libertà e fenomeni connessi.
- Analisi dinamica delle strutture aerospaziali con il metodo degli elementi finiti: frequenze proprie e analisi modale, calcolo della risposta dinamica.
- Problemi di interazione fluido-struttura.
- Fenomeni random.
- Strutture in materiale composito. Strutture sandwich.
- Problemi di criticità nello studio aeroelastodinamico dei pannelli.
- L'analisi modale sperimentale e la strumentazione utilizzata. L'analisi delle funzioni di trasferimento ricavabili sperimentalmente (FRF). Estrazione dei parametri modali. Modelli SDOF e MDOF. I residui.
- Confronto tra i modelli ottenuti per via numerica e sperimentale.
- Prove dinamiche a terra (GVT). Correlazione fra prove di vibrazione a terra e in volo.
- Effetti sull'uomo delle vibrazioni e del rumore.

### ***Laboratori e/o esercitazioni***

- Impiego del metodo degli elementi finiti per la modellizzazione di una semplice struttura reticolare. Analisi statica e dinamica.
- Schematizzazione agli elementi finiti di un pannello in materiale composito mediante elementi rettangolari a quattro nodi di Kirchhoff.
- Calcolo della risposta dinamica di una struttura sollecitata da una forzante armonica.
- Calcolo della funzione di risposta all'impulso e della funzione di risposta in frequenza.
- Scrittura dell'equazione del moto per un pannello investito da un flusso supersonico. Calcolo della velocità critica di flutter.
- Analisi dell'accoppiamento fluido-strutturale del vagone di un aerotreno.

- Esercitazioni in laboratorio che vengono svolte mediante l'impiego di un sistema di acquisizione delle vibrazioni delle strutture presente presso il Dipartimento di Ingegneria Aeronautica e Spaziale e illustrano le modalità di svolgimento di prove di analisi modale.

### **Bibliografia**

G. Surace, M. Pandolfi, Teoria e tecnica delle vibrazioni, CLUT. Parte I, Le vibrazioni meccaniche.

Parte II, Le vibrazioni aeroelastiche.

Zienkiewicz, The finite element method, McGraw-Hill.

D.J. Ewins, Modal testing: theory and practice, Wiley, London, 1984.

Testi ausiliari:

J.B. Przemieniecki, Theory of matrix structural analysis, McGraw-Hill.

R.H. Jones, Mechanics of composite materials, McGraw-Hill.

Shapiro, Principles of helicopter engineering, Temple.

### **Esame**

L'esame si sosterrà al termine del corso e consisterà nella spiegazione della/delle tesi-  
ne sviluppate durante il corso e nella prova orale.

## **B1230 DINAMICA DEI GAS RAREFATTI**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Roberto MARSILIO</b>

### ***Presentazione del corso***

Il corso si propone, nella prima fase, l'acquisizione da parte dello studente delle conoscenze necessarie ad affrontare lo studio dei principali problemi connessi alla dinamica dei gas nei casi in cui l'ipotesi del continuo cessa di valere (ad esempio nella fase di rientro dei veicoli spaziali e nella fase di crociera dei velivoli transatmosferici).

Nella seconda fase del corso ci si rivolgerà allo studio dei flussi ipersonici, in cui le equazioni della gasdinamica devono essere modificate per tener conto degli eventuali fenomeni di non equilibrio vibrazionale e chimico.

Dopo una prima caratterizzazione e modellizzazione delle equazioni di governo, il corso si propone di applicare le conoscenze acquisite allo studio delle capsule di rientro spaziale e delle relative problematiche ad esse connesse.

### ***Prerequisiti***

Analisi Matematica I e II, Aerodinamica, Gasdinamica.

### ***Programma***

Introduzione alla struttura molecolare dei gas - Descrizione del moto di un sistema particellare - L'Equazione di Boltzmann - Integrali collisionali - Equazioni della teoria cinetica per miscele di gas - Forma integrale dell'Equazione di Boltzmann - Modellizzazione e linearizzazione dell'equazione di Boltzmann - Interazione molecolare con superfici solide - Criteri di Similitudine - Equazioni di conservazione - Metodo dei momenti - Condizioni al contorno - Derivazione delle equazioni della gasdinamica - Soluzioni linearizzate dell'Equazione di Boltzmann - Metodi Monte-Carlo - Soluzioni dell'equazione di Boltzmann: flusso di Couette, struttura dell'urto, dinamica dei gas rarefatti su corpi concavi e convessi - Confronti fra risultati teorici e sperimentali.

Caratterizzazione generale dei flussi ipersonici - Equilibrio termodinamico - Richiamo dei principi base della termodinamica - Cenni di meccanica quantistica - Cenni di termodinamica statistica - Sistemi in equilibri chimico e vibrazionale - Sistemi in non equilibrio chimico e vibrazionale - Equazioni di governo del moto per i flussi in equilibrio e in non equilibrio chimico - Flusso congelato e flusso in equilibrio - Campo di moto vicino alla regione di arresto - Strato limite ipersonico - Aerodinamica delle capsule di rientro (Mercury, Gemini, Apollo) - Aerodinamica dello Space-Shuttle - Aerodinamica dei velivoli transatmosferici - Considerazioni generali per il progetto aerotermodinamico.

### ***Laboratori e/o esercitazioni***

Sono previste alcune esercitazioni di carattere teorico sugli argomenti sviluppati a lezione.

## Bibliografia

Dispense del docente

M.N., Rarefied Gas Dynamics, Plenum Press, New York 1969

J.J. Bertin, Hypersonic Aerothermodynamics, AIAAEducational Series, 1994.

W.G. Vincenti, C.H. Kruger, Introduction to Physical Gas Dynamics, J. Wiley and Sons, 1965

## Esame

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso. Per coloro che hanno superato la prova scritta relativa al modulo A l'esame verterà soltanto sui contenuti del modulo B ed il voto finale risulterà dalla media pesata sui rispettivi numeri di crediti dei voti dei due moduli. Per coloro che non hanno superato la valutazione del modulo A (o che non hanno ritenuto di sfruttarne la possibilità) l'esame finale sarà unico.



## **B1250    DINAMICA DEL VOLO**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Piero GILI

---

### **Presentazione del corso**

Il corso intende fornire agli allievi le nozioni fondamentali della dinamica del volo e del controllo del velivolo, seguendo una trattazione che fa riferimento al modello linearizzato. Dopo la definizione dei punti caratteristici del velivolo che consentono di definirne i requisiti dei comandi e delle equazioni del moto vario longitudinale e latero-direzionale, si richiamano quegli strumenti matematici che sono indispensabili nella dinamica del volo. Si presentano poi alcuni metodi e strumenti per poter valutare le derivate aerodinamiche che compaiono nelle equazioni del moto e si passa quindi allo studio della risposta del velivolo al comando ed al disturbo atmosferico. Nella parte finale, ma comunque cospicua del corso, si forniscono agli allievi le nozioni fondamentali relative al controllo convenzionale che impiega metodi di progetto classici ed alcune nozioni relative ai controlli moderni multivariabile.

### **Prerequisiti**

È opportuno essere a conoscenza dei concetti fondamentali della Meccanica Applicata, dell'Aerodinamica, delle Costruzioni Aeronautiche e della Meccanica del Volo.

### **Programma**

#### **Richiami di Meccanica del Volo. [10 ore ]**

Equilibrio e stabilità statica longitudinale.

Determinazione della posizione del fuoco a comandi bloccati e liberi per via teorica e sperimentale. Il requisito della speed stability. Il momento di cerniera e il requisito della stabilità del comando. Sforzo di barra ed effetto dell'attrito; i requisiti del comando longitudinale: istintività, trimmabilità, sensibilità. Il moto curvo nel piano di simmetria; punto di manovra a comandi bloccati e liberi: requisiti sui gradienti *elevator angle per gestic force per g*.

#### **Cenni sui problemi di equilibramento statico e dinamico della superficie di comando. [2 ore]**

Posizione limite anteriore del baricentro con e senza "effetto suolo".

#### **Moto vario del velivolo. [12 ore]**

Riferimento inerziale e riferimento velivolo: assi corpo, assi vento, assi di stabilità. Le equazioni generali del moto non stazionario; le equazioni delle forze in assi vento; le equazioni di forze e momenti in assi corpo. La linearizzazione delle equazioni con le ipotesi delle piccole perturbazioni. Equazioni in forma adimensionalizzata. Moto longitudinale: la soluzione del sistema, diagrammi di A rgand. Diagrammi di stabilità, luogo delle radici, tipi di traiettoria. Moto longitudinale a comandi liberi: la soluzione del sistema; 1 problema dell'equilibramento della trasmissione legato al 2° e 3° modo a comandi liberi. Equazioni del moto latero - direzionale: la soluzione del sistema, diagrammi di A rgand. Equazioni della cinematica e di navigazione.

### **Metodi sperimentali e teorici nella determinazione delle derivate aerodinamiche. [10 ore]**

Le derivate aerodinamiche nelle variabili di stato del moto vario longitudinale; le derivate di controllo nell'angolo di barra dell'equilibratore. Le derivate aerodinamiche del moto vario latero-direzionali; le derivate di controllo negli angoli di barra del timone e degli alettoni.

### **Gli strumenti analitici necessari. [8 ore]**

Matrici ed operatori matriciali, diff e renziazione ed integrazione. La trasformazione lineare: autovalori ed autovettori, le coordinate modali. Il sistema lineare: soluzione time-domain delle equazioni di stato. Coordinate modali. Decomposizione modale: applicazione alla dinamica del velivolo. La trasformazione di Fourier e di Laplace. Tecnica delle frazioni parziali per la determinazione della trasformazione inversa. Poli e zeri della funzione di trasferimento; interpretazione della funzione di trasferimento. Sistemi di riferimento e trasformazioni; trasformazione di un vettore. La matrice di rotazione degli angoli e le sue proprietà. Il passaggio da un sistema di riferimento all'altro.

### **La risposta del velivolo al comando ed al disturbo atmosferico. [16 ore]**

Risposta del velivolo ad un input sinusoidale; risposta in frequenza. Determinazione delle funzioni di trasferimento del velivolo. Diagrammi di Nyquist, di Bode e di Nichols. Effetto dei poli e degli zeri sulla risposta in frequenza. Equazioni del moto in atmosfera non uniforme. Fenomenologia della turbolenza atmosferica e wind shear; modelli di turbolenza; metodo della densità spettrale di potenza. Risposta del velivolo al disturbo atmosferico. Le schematizzazioni della raffica. Risposta ad un comando: risposta al comando a gradino dell'equilibratore, risposta alla manetta, frequenza di risposta laterale, transitorio di risposta agli alettoni ed al timone; Accoppiamento inerziale nelle manovre rapide.

### **Controlli automatici. [22 ore]**

Diagrammi di opinione. Flying ed handling qualities; la specifica MIL-F-8785C: specifiche per il volo longitudinale e latero - direzionale. I sistemi di controllo automatico; definizione del guadagno di loop. Progetto di un sistema SISO con il metodo root-locus, di assegnazione degli autovalori e model following. Realizzazione pratica del controllore e funzioni del sistema di controllo. Panoramica sui sistemi SAS, CAS ed autopiloti. Architettura del controllo longitudinale e latero-direzionale. I sistemi SAS: pitch damper, rolldamper/yaw damper. I sistemi CAS: roll rate, pitch rate, normal acceleration. Gli autopiloti: pitch attitude hold, altitude hold, automatic landing, turn coordination. Sistemi di controllo di tipo MIMO.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

- Caratteristiche aerodinamiche e condizioni di equilibrio di un velivolo tutt'ala a freccia svergolata.
- Angolo di deflessione dell'equilibratore per assicurare l'equilibrio longitudinale di un aliante e curve aerodinamiche caratteristiche.
- Sforzo di barra e gradienti caratteristici del comando longitudinale.
- Determinazione dei punti di manovra a comandi liberi e bloccati.
- Determinazione delle caratteristiche del moto vario longitudinale a comandi bloccati.
- Determinazione delle caratteristiche del moto vario latero-direzionale a comandi bloccati.
- Risposta al comando a gradino dell'equilibratore.
- Risposta in frequenza nel piano longitudinale: calcolo analitico e diagramma di Bode.
- La risposta longitudinale alla raffica nel dominio del tempo e della frequenza.
- Soppressione della divergenza nel modo spirale attraverso le derivate nell'angolo di derapata.

## Bibliografia

- Etkin, Dynamics of Atmospheric Flight.  
NASATN D-6800, Longitudinal Aerodynamic Characteristics of Light, Twin-Engine, Propeller-Driven Airplanes.  
N A S A TN D-6946, Lateral-Directional Aerodynamic Characteristics of Light, Twin-Engine, Propeller-Driven airplanes.  
Amerio, Metodi matematici ed applicazioni.  
Baciotti, Teoria matematica dei controlli.  
Etkin, Dynamics of Atmospheric Flight.  
Mangiacasale, Controlli automatici del velivolo.  
McLean, Automatic flight control systems.  
Nelson, Flight stability and Automatic Control.

## Esame

La valutazione consiste in un tradizionale esame orale. Per coloro che hanno superato la prova orale relativa al modulo A, l'esame verterà soltanto sui contenuti del modulo B ed il voto finale risulterà dalla media pesata sui rispettivi numeri di crediti dei voti dei due moduli. Per coloro che non hanno superato la valutazione del modulo A (o che non hanno ritenuto di sfruttarne la possibilità) l'esame finale sarà unico.

## **B1252    DINAMICA DEL VOLO II**

Periodo: 2  
Crediti: 10  
Precedenze obbligatorie:  
Docente: **Giorgio GUGLIERI**

---

### **Presentazione del corso**

Il corso illustra le nozioni fondamentali relative allo studio della dinamica del velivolo, anche in condizioni di volo ad alta incidenza. Si analizzano le caratteristiche di manovrabilità ed agilità del velivolo, le qualità di volo e la relativa normativa. Si studiano metodi di modellizzazione basati su tecniche sperimentali. Si descrivono le tecniche di sperimentazione in galleria del vento, per la determinazione dei parametri di stabilità dinamica del velivolo.

### **Prerequisiti**

Aver frequentato il corso di Meccanica del Volo.

### **Programma**

- Sistemi di riferimento e trasformazioni. equazioni del moto di un corpo rigido nei diversi sistemi di riferimento.
- Traiettorie balistiche. Stabilizzazione giroscopica della traiettoria.
- Specializzazione delle equazioni del moto allo studio della dinamica del velivolo. Moto longitudinale e latero-direzionale a piccoli angoli di incidenza. Integrazione numerica delle equazioni del moto. Rappresentazione della risposta dinamica tramite matrici di stato.
- Dinamica del volo ad alti angoli di incidenza. Criteri semi-empirici per l'analisi del comportamento dinamico del velivolo. Studio delle caratteristiche di manovrabilità ed agilità. Manovre e riformulazione delle equazioni del moto.
- Richiami sulla trasformata di Laplace; risposta indiciale ed impulsiva; funzioni di trasferimento e risposta in frequenza, poli e zeri del sistema. Risposta al comando (open loop). Stabilizzazione automatica della traiettoria. Sistemi di controllo lineari.
- Interfaccia uomo-macchina. Normativa relativa alle qualità di volo (MIL-8785C e ADS-33). Modello matematico di Tobak e Schiff e rappresentazione della dinamica del velivolo tramite modi elementari riconducibili a tecniche sperimentali definite. Correlazione tra modellizzazione e metodi sperimentali per la determinazione dei parametri di stabilità in galleria del vento. Classificazione delle tecniche sperimentali. Tecniche di rotazione. Tecniche oscillatorie. Analisi della tecnica delle oscillazioni forzate. Oscillazioni di grande ampiezza. Oscillazioni libere. Correlazione tra prove sperimentali in galleria del vento e prove di volo. Analisi delle caratteristiche aeromeccaniche di ali con basso e bassissimo allungamento. Ali a delta in regime di volo subsonico. Studio del comportamento aeromeccanico di corpi fusiformi ad alti assetti di volo. Analisi delle principali forme di divergenza tipiche del volo ad alta incidenza. Tecniche di controllo attivo e passivo.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

- Calcolo analitico e numerico di traiettorie balistiche.

- Calcolo autovalori, autovettori e root loci.
- Calcolo numerico delle matrici di stato.
- Calcolo numerico della risposta in frequenza; calcolo approssimato della risposta in frequenza.
- Esempio numerico di correlazione tra degradazione delle qualità di volo e guadagni di retroazione del sistema.
- Applicazione sperimentale della tecnica della bilancia rotante.
- Applicazione sperimentale della tecnica delle oscillazioni forzate.
- Identificazione numerica dei parametri di un modello matematico empirico basato sui risultati di prove di oscillazione libera.

### **Bibliografia**

- B. Etkin, "Dynamics of Flight-Stability and Control", John Wiley & Sons, 1982.
  - R. C. Nelson, "Flight Stability and Automatic Control", McGraw-Hill, 1989.
- Dispense distribuite durante il corso.

### **Esame**

L'esame è costituito da una prova orale da sostenersi alla fine del semestre.

## **B1530 ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Gianni GUERRA</b>

---

### ***Presentazione del corso***

La prima parte del corso affronta il tema dell'efficienza nelle organizzazioni, analizzando il trade-off tra coordinamento di mercato e coordinamento gerarchico. L'approccio utilizzato è quello dell'economia transazionale e dei property rights. L'impostazione concettuale dei temi trattati si fonda sull'ipotesi di asimmetria informativa tra le parti; il corso fornisce pertanto alcune nozioni fondamentali della teoria dell'agenzia. Questo primo ciclo di lezioni introduce gli studenti allo studio delle caratteristiche di efficienza delle diverse forme organizzative e li induce ad interrogarsi sulle forze economiche che determinano i limiti e le dimensioni dell'impresa. Le lezioni che seguono sono dedicate ad analizzare, in forma descrittiva, le alternative strutturali di organizzazione interna ed esterna e la loro coerenza con gli obiettivi strategici dell'impresa. Esaurito il tema del coordinamento dei piani e delle azioni all'interno dell'impresa, il corso si rivolge ad analizzare il comportamento delle organizzazioni alla periferia, concentrando lo studio sulle determinanti di integrazione verticale ed orizzontale e sulle strategie di accordo.

La seconda parte del corso è dedicata allo studio del Bilancio Aziendale, della contabilità analitica e degli strumenti di controllo di gestione. Tali nozioni si completano infine con lo studio dei principali modelli di finanza aziendale e di capital budgeting. Il tema è introdotto dall'illustrazione dei principi generali di redazione, delle fonti di riferimento e della normativa civilistica. Su queste basi si fonda lo studio degli schemi generali di redazione e l'interpretazione del contenuto particolareggiato delle diverse voci. Le nozioni impartite sono propedeutiche alla comprensione del funzionamento contabile del Bilancio in partita doppia. Il modulo mira inoltre a fornire gli strumenti di analisi atti a sintetizzare le informazioni relative all'andamento economico e finanziario dell'impresa, introducendo gli studenti all'utilizzo delle tecniche di riclassificazione dello Stato Patrimoniale e del Conto Economico, all'analisi dei flussi finanziari e all'analisi per indici. Il fine di questo ciclo di lezioni è quello di impartire le nozioni fondamentali per la redazione del prospetto delle fonti e degli impieghi, individuando le fonti di finanziamento e le opportunità di investimento. Inoltre, gli studenti apprendono a gestire le informazioni di Bilancio definendo una serie di indici atti a riassumere, in forma sintetica, la situazione strutturale dell'azienda, la prestazione economica, le eventuali fonti di tensione finanziaria, il grado di rischiosità dell'indebitamento ed alcuni aspetti della gestione operativa. Completa l'analisi lo studio delle politiche di bilancio, che fornisce le nozioni propedeutiche ai temi di finanza aziendale. A tal fine, l'impostazione del corso prevede che gli studenti apprendano a gestire l'informazione di Bilancio quale strumento di segnalazione ai mercati, tramite la politica dei dividendi e l'assetto delle fonti di finanziamento e della struttura proprietaria. Inoltre, questo secondo modulo è dedicato all'apprendimento delle principali tecniche di contabilità analitica per la rilevazione dei costi diretti, l'attribuzione dei costi indiretti, e la determinazione del costo unitario di prodotto. Sulla base di questi elementi gli studenti apprendono le principali tecniche di formulazione del budget, di analisi degli scostamenti e di controllo di gestione.

Infine, la parte conclusiva del corso è dedicata allo studio delle tecniche per la valutazione della redditività economica degli investimenti. Gli studenti imparano ad utilizzare il concetto di tasso di sconto, di valore attuale dei flussi di cassa e di rischiosità degli investimenti. Sulla base di queste nozioni, il corso mira a fornire agli studenti gli strumenti quantitativi necessari alla valutazione della convenienza di un investimento in beni materiali ed immateriali.

### **Prerequisiti**

I corsi di base di statistica e di Analisi matematica.

### **Programma**

Le domande fondamentali: dimensioni e limiti dell'impresa Le radici storiche, Smith, Marx, Knight, l'approccio neoclassico, la visione di Coase. L'approccio dell'economia transazionale: aspetti generali, caratteristiche delle transazioni. Limiti dell'approccio transazionale.

Organizzazioni ed efficienza: opzione efficiente e Pareto-efficienza. Principio di massimizzazione del valore, il teorema di Coase. La teoria dei Property Rights: titolarità dei diritti residuali, autorità e forma d'impresa. La dimensione dell'azienda: trade-off tra costi e benefici del processo di integrazione. Applicazioni del teorema del valore, l'efficienza nelle organizzazioni.

Problemi di coordinamento ed informazione: ruolo dei prezzi, coordinamento dei mercati, gerarchia. Informazione privata, coordinamento ed efficienza delle organizzazioni. Asimmetrie informative, free-riding, modelli di segnalazione e selezione, azzardo morale. Limiti delle organizzazioni economiche: determinanti di integrazione verticale ed orizzontale. Forme di coordinamento interno: alternative strutturali. Forme semplici, forme funzionali, forme divisionali, forme innovative. Il comportamento delle organizzazioni alla periferia: gli accordi. Strutture Societarie.

Classificazione e rilevazione dei costi aziendali. Allocazione dei costi diretti ed indiretti ai centri di costo. Job costing e process costing. Il metodo dell' Activity Based Costing. Analisi di make or buy.

Analisi del punto di pareggio. Finalità, fonti di riferimento, principi normativi generali del Bilancio Aziendale. Principi contabili generali. Attivo: analisi delle voci. Passivo e Patrimonio netto: analisi delle voci. Il Conto Economico struttura generale ed analisi delle voci. La Nota Integrativa. Il funzionamento contabile del Bilancio in partita doppia. Influenze fiscali sul bilancio.

La riclassificazione dello Stato Patrimoniale. Riclassificazione del Conto Economico al Valore Aggiunto ed al Valore del Venduto. Il prospetto Fabbisogni/Coperture. L'analisi dei flussi.

L'analisi per indici. Le politiche di Bilancio. Il Bilancio Consolidato. Interazioni tra fonti e impieghi. Elementi di finanza aziendale. La determinazione dei flussi di cassa. Il tasso di sconto.

I metodi di attualizzazione. L'analisi degli investimenti per indici. L'analisi degli investimenti in condizioni di incertezza.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Le esercitazioni relative alla prima parte del corso sono dedicate alla risoluzione di esercizi strutturati in forma di casi aziendali stilizzati.

Le esercitazioni relative al secondo modulo sono dedicate alla risoluzione di problemi relativi alla determinazione dei costi di un prodotto o di un servizio, alla redazione di Bilanci aziendali semplificati ovvero all'analisi di documenti di Bilancio di Società appartenenti a vari settori industriali. Inoltre una parte degli esercizi è dedicata alla valutazione della redditività di diverse alternative di investimento.

### **Bibliografia**

- S. Rossetto, "Manuale di Economia ed Organizzazione d'impresa", UTET Libreria, Torino, 1999.  
P. Milgron, J. Roberts, "Economia Organizzazione e Management", Il Mulino, Bologna, 1992.  
Coopers & Lybrand, "Il Bilancio delle Imprese", Edizioni Il Sole 24 Ore, Milano, 1996.

### **Esame**

L'esame consiste di una prova scritta e di una prova orale.



## **BA410 ELETTRONICA**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	Elettrotecnica
Docente:	Leonardo REYNERI

---

### **Presentazione del corso**

Corso di base in elettronica discreta, analogica e digitale. Nel primo modulo vengono descritti i fondamenti fisici dei dispositivi a semiconduttore e i principali circuiti a diodi e a transistori.

Nel secondo modulo vengono fornite le nozioni di base sugli amplificatori operazionali e i relativi circuiti e i fondamenti della logica booleana e dei circuiti digitali.

### **Prerequisiti**

Fisica I e II; Elettrotecnica.

### **Programma**

Cenni di fisica dello stato solido, funzionamento dei semiconduttori; diodi e transistori, celle solari, diodi ad emissione di luce; circuiti a diodi, limitatori, conversione AC-DC, alimentatori; circuiti a transistori bipolari, amplificatori, concetti di banda e guadagno; transistori come interruttore, carichi resistivi ed induttivi; dissipazione di potenza e alette di raffreddamento.

Stadio differenziale, guadagni di modo comune e differenziale; amplificatore operazionale, amplificatore invertente e non, sommatore; non-idealità, limitazioni di banda, offset; integratore, derivatore, filtri, diodo ideale, amplificatore log e antilog; retroazione positiva, isteresi, comparatore di soglia, oscillatori; algebra booleana, numeri binari, operazioni matematiche; teoremi booleani, minimizzazione logica, mappe di Karnaugh; porte AND, OR, NOT, EXOR, funzioni logiche e implementazioni; famiglia TTL, caratteristiche di ingresso/uscita; circuiti combinatori, multiplexer, decoder, encoder, flip-flop tipo SR, D e T; circuiti sequenziali, contatori, conversione seriale/parallelo/seriale; automi a stati finiti, sintesi e analisi.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Esercitazioni: esercizi sugli argomenti trattati a lezione.

Laboratori: uso degli strumenti di laboratorio; circuiti a diodi; amplificatori a transistori.

Amplificatori operazionali; circuiti non lineari; oscillatori; circuiti digitali; termometro e termostato (montaggio e taratura).

### **Bibliografia**

P.H. Beards, "Elettronica analogica e digitale", P. Hall International, ISBN 88-256-0218-9.

L.M. Reyneri, M. Chiaberge, "Esercizi Svolti di Elettronica", Politeko, Torino, 1998.

L.M. Reyneri, M. Chiaberge, "Quaderno LADISPE n. 13", Politeko, Torino, 1998.

AA.VV. "Quaderno LADISPE n. 2", Politeko, Torino, 1996.

## Esame

Scritto, 2 ore, senza libri con formulario di max 5 formule, voto max. 27; orale aggiuntivo, opzionale, senza limiti di voto.

## **B1800 ENDOREATTORI**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Dario PASTRONE</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso, suddiviso in tre moduli, descrive gli endoreattori chimici, attualmente di predominante importanza. Nel modulo A sono trattati i principi fisici comuni ai diversi tipi di endoreattori chimici, quali la termochimica in camera di combustione, l'espansione nell'ugello ed il problema del raffreddamento. Nei restanti due moduli si analizzano in dettaglio i diversi tipi di endoreattori: il modulo B analizza gli endoreattori a propellenti solidi ed ibridi, mentre il modulo C è dedicato agli endoreattori a propellenti liquidi. In essi sono descritti i propellenti di comune impiego, il processo di combustione, i vari componenti, le peculiarità del sistema, studiandone le prestazioni per evidenziare le rispettive possibilità di impiego in campo spaziale.

### **Prerequisiti**

Nozioni di base di termodinamica, di meccanica dei fluidi e di propulsione aerospaziale

### **Programma**

- Classificazione degli endoreattori e definizioni di prestazioni di comune impiego in razzo-tecnica. (4h).
- Prestazioni ideali. Modello di endoreattore ideale. Termochimica dei propellenti: calcolo delle condizioni in camera di combustione. Coefficiente di spinta. Influenza del rapporto di miscela sulle prestazioni. Impulso specifico per densità. (4h)
- Prestazioni reali. Fattori di correzione. Tempo e lunghezza caratteristici. Presenza di particelle solide/liquide nei gas di scarico. Urto di condensazione. Effetti dello strato limite. Effetto della cinetica chimica. Geometria dell'ugello: ugelli convenzionali (perdite per divergenza, effetto della pressione ambiente e scelta del rapporto di espansione) ed ugelli avanzati. (8h)
- Il problema del raffreddamento. Aspetti peculiari della trasmissione del calore negli endoreattori: conduzione, irraggiamento, convezione forzata gas/parete e parete/liquido refrigerante. Metodi di raffreddamento attivi e passivi. Raffreddamento a ciclo rigenerativo (bilancio locale e globale; qualità desiderabili di propellente per il suo impiego come refrigerante; influenza della pressione in camera di combustione, della spinta e del rapporto di miscela). (8h)
- Endoreattori a propellenti solidi. Classificazione e caratteristiche dei propellenti solidi. Balistica interna. Velocità di regressione. Pressione di equilibrio e stabilità della combustione. Influenza della geometria e della temperatura del grano su pressione e velocità di combustione. Condizioni di pseudo equilibrio e transitori di accensione/spegnimento. Andamento della pressione lungo l'asse motore. Geometria del grano e prestazioni. Processo di combustione. Controllo della direzione della spinta. (12 h)
- Endoreattori a propellenti ibridi. Propellenti ed applicazioni. Il processo di combustione. Configurazione del grano e prestazioni. (4 h)
- Propellenti liquidi: criteri di scelta del propellente, prestazioni e caratteristiche chimico/fisiche dei propellenti di comune impiego. Serbatoi; espulsione del propellente in

condizioni di microgravità o con accelerazioni avverse (settling e propellant management). Sistemi di alimentazione mediante gas pressurizzante (gas compresso, evaporazione del propellente, gas generato tramite reazione chimica). Sistema di alimentazione tramite turbopompe: cicli aperti e cicli chiusi, turbopompe assiali/centrifughe, problemi di cavitazione, turbine, accoppiamento pompa/turbina. (18 h)

- Processo di combustione di propellenti liquidi. Instabilità di combustione: tipi principali di instabilità, analisi e rimedi. Sistema di iniezione: tipi di iniettore, criteri di progetto di un iniettore. Sistema di accensione. Calibrazione del sistema. Regolazione del modulo della spinta. Controllo della direzione della spinta. (16 h)

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Endoreattori impiegati in un lanciatore. Calcolo della temperatura di combustione. Scelta del rapporto di miscela per razzo monostadio e bistadio.

L'esercitazione in laboratorio prevede il rilievo dell'andamento temporale della pressione nella camera di combustione di un piccolo endoreattore a propellente solido con ugello intercambiabile.

Gli studenti vengono raggruppati in squadre di circa 10 allievi.

Le esercitazioni in aula hanno per argomento il progetto preliminare di un endoreattore a propellenti solidi e di un endoreattore a propellenti ibridi.

Prestazioni, dimensionamento e refrigerazione della camera di spinta di endoreattori di lanciatore a tre stadi. Sistema di alimentazione con pressurizzazione dei serbatoi. Sistema di alimentazione con turbopompe.

### **Bibliografia**

G.P. Sutton, Rocket Propulsion Elements, 6 th ed., Wiley, 1992.

P. Hill, C. Peterson, Mechanics and Thermodynamics of Propulsion, Addison Wesley, 2 nd ed., 1992.

Y. M. Timmat, Advanced Chemical Rocket Propulsion, Academic Press, 1987.

K. Huzel, H. Huang, Modern Engineering for Design of Liquid-Propellant Rocket Engines, Progress in Astronautics and Astronautics, Vol. 147, AIAA, 1992.

### **Esame**

Esame finale, al termine del semestre, costituito da prova orale sui contenuti teorici trattati in tutti e tre i moduli e discussione delle relative esercitazioni.

## **B2024    FISICA E INGEGNERIA DEI PLASMI (r)**

Periodo:	2
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Francesco PORCELLI</b>

---

### **Presentazione del corso**

La Fisica dei Plasmi è un argomento interdisciplinare per eccellenza. Tale materia è alla base di fenomeni a prima vista molto distanti tra di loro, in Astrofisica, nella ionosfera e nello spazio geofisico, e in plasmi di laboratorio. Svariate sono le applicazioni di tipo ingegneristico dei plasmi: la tecnologia dei semiconduttori e dei circuiti integrati, il trattamento delle superfici, la produzione di nuovi composti chimici e di nuovi materiali, le torce al plasma per la termodistruzione dei rifiuti tossici, i display a plasma, l'illuminotecnica, la conversione diretta di elettricità mediante processi magnetoidrodinamici, la propulsione spaziale, lo sviluppo di laser compatti a raggi X, lo studio di nuovi possibili acceleratori di particelle, la fusione termonucleare controllata. I plasmi sono gas ionizzati, dove le cariche libere producono campi elettromagnetici i quali a loro volta, agendo a grandi distanze e su tempi anche più brevi dei tempi medi collisionali, influenzano il moto delle cariche stesse. È questo ciò che s'intende per comportamento collettivo del plasma. La Fisica del Plasma nasce quindi come disciplina a cavallo tra l' Elettromagnetismo, la Fluidodinamica, la Fisica Cinetica e Statistica e la Fisica Atomica e Molecolare. I plasmi sono sistemi complessi, altamente turbolenti e nonlineari, ed in quanto tali la loro modellizzazione ha dato stimolo allo sviluppo di tecniche matematiche e di metodi numerici.

### **Prerequisiti**

Fisica generale, Elettromagnetismo.

### **Programma**

#### *Definizione di plasma.*

Gas ionizzati e plasmi. Necessità di una descrizione statistica. Funzione di distribuzione e equazione cinetica del trasporto. Prima formulazione matematica completa: il modello di Maxwell-Boltzmann. Quasineutralità. Lunghezza di Debye. Frequenza di plasma. Il parametro di plasma. Vari tipi di plasma.

#### *Elementi di teoria cinetica.*

Il concetto di distribuzione di probabilità. Cammino stocastico. Moto Browniano. Diffusione. Microstati e macrostati. La distribuzione Maxwelliana. Equilibri termodinamici locale e globale. Cammino stocastico e collisioni Coulombiane nei plasmi. Equazione cinetica di Fokker-Planck per i plasmi. Tempi di rilassamento.

#### *Orbite di particelle cariche e confinamento magnetico.*

Orbite in campo magnetico uniforme. Diffusione collisionale in plasmi magnetizzati. Moti di deriva. Campo magnetico statico non uniforme. Invarianza adiabatica del momento magnetico. Specchi e bottiglie magnetici.

#### *Modelli fluidi: il modello MHD ideale.*

Momenti dell'equazione cinetica. Leggi di conservazione. Limite non collisionale. L'equazione di Vlasov. Il modello CGL. Il modello magnetoidrodinamico (MHD) ideale. Legge di congelamento delle linee di campo. La forza  $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$ . Onde di Alfvén. Onde acu-

stiche e magnetoacustiche.

*Equilibrio e stabilità MHD.*

Magnetostatica. Energia cinetica e potenziale di un plasma. Energia delle onde MHD. Il funzionale energia potenziale. Il principio dell'energia. Classificazione delle instabilità.

*Il modello MHD resistivo.*

Introduzione alle instabilità resistive. Numero di Reynolds magnetico. Perturbazioni singolari. Strati limite. Tecnica del raccordo asintotico per la risoluzioni di equazioni differenziali. Modelli ridotti. Analisi delle piccole perturbazioni. Instabilità resistive: tassi di crescita, celle di convezione, isole magnetiche.

## **Bibliografia**

Dispense a cura del docente titolare.

G. Schmidt, *Physics of High Temperature Plasmas*, 2nd ed., Academic Press, 1979.

J. Freidberg, *Ideal MHD*, Plenum Press, New York, 1987.

## **Esame**

Orale. Parte del corso è a carattere seminariale; di questa parte, gli studenti porteranno all'esame un argomento a scelta.

## B2026 FISICA E INGEGNERIA DEI PLASMI II (r)

Periodo:	2
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Francesco PORCELLI

### Presentazione del corso

In questo corso, continuazione del corso di Fisica e Ingegneria dei Plasmi, verranno approfonditi alcuni aspetti di Fisica dei Plasmi di interesse A e ospaziale. In particolare, verrà discussa la propagazione di onde elettromagnetiche nei plasmi, verranno studiati flussi magnetoidrodinamici (MHD) e turbolenza magnetica, verranno descritti e caratterizzati diversi tipi di plasmi nello spazio, ed infine verranno illustrate alcune diagnostiche per la misura delle proprietà dei plasmi.

### Prerequisiti

Fisica e Ingegneria dei Plasmi.

### Programma

Il plasma come dielettrico. Equazione delle onde e relazioni di dispersione. Onde in plasmi magnetizzati. Accessibilità, risonanze, cut-off. Limite di bassa frequenza.

#### *Flussi idromagnetici.*

Equazione di Navier-Stokes. Flussi di Hartmann. Flussi di Couette. Stabilità. Flussi paralleli e trasversali al campo magnetico. Applicazioni: propulsione spaziale; generatori MHD.

#### *Chaos Magnetico.*

Hamiltoniana per le linee di campo magnetico. Caso integrabile. Riconnessione magnetica. Evoluzione nonlineare dei modi resistivi. Sequenza di biforcazioni del modello MHD resistivo. Stocasticità delle linee di campo. Il criterio di Chirikov. Turbolenza magnetica. Relazioni con i dati sperimentali

Magnetosfere planetarie. Fasce di van Allen. Ionosfera. Vento solare. Campi magnetici interplanetari. Correnti elettriche nella magnetosfera. Shocks nello spazio.

Guaine elettrostatiche. Misure in situ: sonde di Langmuir, analisi dei potenziali ritardati, misura di flussi ionici. Tecniche di radiofrequenza per la misura della densità, della temperatura e delle fluttuazioni nei plasmi.

### Bibliografia

- G. Schmidt, *Physics of High Temperature Plasmas*, 2nd ed., Academic Press, 1979.
- R. Dendy, *Plasma Dynamics*, Clarendon Press, Oxford, 1990.
- R. D. Hazeltine and J. D. Meiss, *Plasma Confinement*, Addison-Wesley, Redwood City, CA, 1991.
- Boyd and Sanderson, *Plasma Dynamics*, Barnes and Noble, New York, 1969.
- Dispense a cura del docente titolare.
- G. K. Parks, *Physics of Space Plasmas*, Addison-Wesley, Redwood City, CA, 1991.
- I. H. Hutchinson, *Principles of Plasma Diagnostics*, Cambridge University Press, 1987.

## Esame

Orale. Parte del corso è a carattere seminariale; di questa parte, gli studenti porteranno all'esame un argomento a scelta.

Lo statino deve essere presentato all'atto di sostenere l'esame orale.



## B2060 FISICA TECNICA

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Giuseppe RUSCICA

---

### Presentazione del corso

Il corso costituisce il naturale collegamento tra gli argomenti trattati nei corsi di Fisica del biennio ed i corsi successivi del triennio (in particolare Macchine, Meccanica dei fluidi e magneto-fluidodinamica).

Il corso si propone di:

- approfondire tutti i fondamenti della termodinamica di base, di formulare le equazioni di stato che descrivono il comportamento dei fluidi più utilizzati nelle applicazioni ingegneristiche e di analizzarne alcune applicazioni nei sistemi e nelle macchine;
- di studiare le modalità di scambio termico ed i dispositivi che ne consentono la realizzazione ed il controllo;
- di studiare le leggi fondamentali della termofluidodinamica elementare ed alcune semplici applicazioni.

### Prerequisiti

Sono propedeutici i corsi di Analisi e di Fisica.

### Programma

*Termodinamica - Richiamo sui concetti generali (6 ore)*

Definizione di sistema e di contorno e sue proprietà. Sistemi chiusi; Sistemi aperti o con deflusso. Sistema isolato. Stato di equilibrio; Definizione di equilibrio termodinamico. Sistemi chimicamente e fisicamente omogenei. Proprietà di un sistema, coordinate termodinamiche e meccaniche. Grandezze di stato: Intensive ed estensive. Funzione di stato.

*Processi termodinamici e grandezze di scambio (2 ore)*

Equilibrio Termico - Principio zero - Temperatura. Corpo termometrico. Termometro a gas. Scala internazionale pratica di temperatura. Regola delle fasi. Equazione di stato. Processo e trasformazione termodinamica - Grandezze di scambio: Calore e lavoro. Processi diretti ed inversi. Processi ciclici. Potenza e Lavoro nei sistemi chiusi (2 ore) Potenza e lavoro di espansione di un fluido. Lavoro e potenza generalizzati. Lavoro esterno, trasformazione quasi statica. Concetto di reversibilità. Teorema delle forze vive ed equazione di conservazione dell'energia o della potenza meccanica. Lavoro con deflusso. Lavoro di spostamento.

*Primo principio della Termodinamica (4 ore)*

Formulazione generale. Formulazione per una trasformazione generica. Energia interna e sue proprietà. Energia totale. Estensione del primo principio ai sistemi con deflusso. Derivazione dell'equazione di conservazione dell'energia meccanica. Entalpia e sue proprietà. Definizione di calore massico (o specifico) generalizzato. Casi particolari. Gas ideale: Equazione di stato di un gas. Energia interna ed Entalpia per un gas ideale. Calori specifici. Cenni sulla teoria cinetica dei gas. Equazione di stato. Principio di equipartizione dell'energia ed i calori specifici dei gas. Processi per i gas ideali.

### *Secondo Principio della Termodinamica (8 ore)*

Enunciati secondo Clausius, Kelvin e Plank. Concetto di irreversibilità dei processi. Concetto di macchina termica e di efficienza - Macchine motrici ed operatrici. Macchina di Carnot e suo rendimento termodinamico. Limitazioni e Fattore di Carnot, Temperatura e scala termodinamica, equazione di Carnot-Clapayron e funzione entropia, Unità di misura. Conversioni energetiche e teorema dell'energia utilizzabile. Exergia e rendimento exergetico.

### *Gas reali (4 ore)*

Fattore di comprimibilità. Equazione degli stati corrispondenti. Equazione di Van der Waals. Espansione isoentalpica e coefficiente di Joule -Thomson. Cambiamenti di fase, vapori. Diagrammi di stato del vapor d'acqua.

### *Cicli termodinamici (6 ore)*

Trasformazioni nei digrammi di Clapayron, Gibbs, Mollier. Cicli diretti a gas (Otto, Diesel, Joule), calcolo dei rendimenti. Cicli inversi a gas (Joule), calcolo del COP e dell'efficienza frigorigena. Cicli diretti a vapore (Hirn, Rankine). Cicli inversi a compressione di vapore. Cenni ai cicli criogenici e ad assorbimento. Concetto di rigenerazione termica. Cicli rigenerativi a gas (Stirling ed Ericsson). Cicli rigenerativi a vapore.

### *Miscele di aria e vapore (2 ore)*

Miscele di gas -Leggi fondamentali - Applicazione all'aria umida. Parametri termodinamici dell'aria umida e loro relazioni. Diagrammi di Mollier dell'aria umida.

### *Conversione diretta dell'energia (2 ore)*

Fenomeni termoelettrici nei solidi. Relazioni di Kelvin. Cenni sulle celle a combustibile e sui dispositivi termoionici. Cenni sui generatori magnetoidrodinamici.

### *Cenni di fluidodinamica (6 ore)*

Fenomeni di trasporto dell'energia, della quantità di moto e della massa. Equazioni di conservazione in forma locale. Equazione di continuità. Equazione del moto. Equazione dell'energia meccanica. Equazione dell'energia totale. Applicazione al moto dei fluidi nei condotti. Velocità del suono. Efflusso in parete sottile.

### *Regimi di moto e misure di portata (2 ore)*

Cenni ai problemi di interazione fluido parete. Attrito. Regime di moto laminare e turbolento. Perdite di carico. Misure di portata nei condotti. Apparecchi a contrazione di corrente, rotometri e tubo di Pitot.

### *Trasmissione del calore - Conduzione (5 ore)*

Conduzione stazionaria nei solidi, legge di Fourier, caso piano e cilindrico. Conduzione non stazionaria per i solidi a conduttività infinita. Conduzione non stazionaria in lastra piana infinita.

### *Trasmissione del calore - Convezione (5 ore)*

Convezione naturale e forzata, coefficiente di scambio termico parete fluido. Analisi dimensionale. Analogia di Reynolds. Formule empiriche più usate nel caso dei condotti.

### *Trasmissione del calore - Irraggiamento (4 ore)*

Irraggiamento. Definizioni e Leggi fondamentali. Il corpo nero. Le leggi di Kirchoff. I corpi reali. Fattore di forma. Scambio di energia tra corpi neri e grigi. Teoria delle reti elettriche equivalenti. Linearizzazione.

### *Dispositivi di scambio termico (6 ore)*

Scambio termico laminare e globale. Analogia elettrica e resistenza termica. Sistemi a superfici estese. Aletta piana e cilindrica. Efficienza dell'aletta e della superficie alettata. Scambiatori di calore in linea e a correnti incrociate. Coefficiente globale di scambio e calcolo della superficie di scambio. Scambiatori a passaggi multipli. Prestazione di uno scambiatore. Teoria del numero di unità di trasferimento (NUT).

## **Laboratori e/o esercitazioni**

### *Esercitazioni*

- Unità di misura - Sistema internazionale - Sistema Tecnico - Sistema Anglosassone (2 ore)
- Esercizi di calcolo sulle trasformazioni termodinamiche (2 ore)
- Esercizi applicativi sul I Principio per i sistemi chiusi (2 ore)
- Esercizi applicativi sul I Principio per i sistemi aperti (2 ore)
- Esercizi applicativi sul II Principio per i sistemi chiusi (2 ore)
- Esercizi applicativi sul II Principio per i sistemi aperti (2 ore)
- Applicazione del teorema dell'energia utilizzabile alle trasformazioni ed ai cicli (2 ore)
- Calcolo dei capisaldi di un ciclo a gas con rigenerazione e del suo rendimento (2 ore)
- Calcolo dei capisaldi di un ciclo a vapore con spillamenti e del suo rendimento (2 ore)
- Esercizi di fluidodinamica, regime di moto e calcolo delle portate e delle perdite di carico (4 ore)
- Esercizi sulla trasmissione del calore per conduzione in regime stazionario (2 ore)
- Esercizi sulla trasmissione del calore per conduzione con generazione interna (2 ore)
- Esercizi sulla trasmissione del calore in regime stazionario (2 ore)
- Esercizi sulla trasmissione del calore per convezione (Calcolo dei coefficienti di scambio, delle temperature e dei flussi) (2 ore)
- Esercizi sugli scambiatori di calore, calcolo della temperatura media logaritmica, del coefficiente globale e della superficie di scambio. Applicazione della teoria dei NUT (2 ore)
- Esercizi sull'irraggiamento tra corpi neri e corpi grigi con applicazione del metodo delle reti equivalenti. (2 ore)

### *Laboratorio*

- Misura dell'equivalente meccanico del calorìa
- Misure di temperatura e velocità
- Bilancio energetico su un impianto per la produzione di aria calda con scambiatore acqua - aria e generatore di calore elettrico.
- Misure dei capisaldi termodinamici di un ciclo frigorifero e bilanci termici relativi
- Bilancio termico e di massa su uno scambiatore di calore acqua - acqua e calcolo del coefficiente globale di scambio
- Bilancio termico e di massa su uno scambiatore di calore aria aria e calcolo del coefficiente globale di scambio Misura della conduttività termica di un materiale isolante

## **Bibliografia**

- Appunti delle lezioni e materiale didattico distribuito durante il Corso.
- M.V. ZEMANSKY, M. M. ABBOT, H.C. VAN NESS, Fondamenti di Termodinamica per Ingegneri, Zanichelli, Bologna, 1983.
- A. CAVALLINI - L. MATTAROLO, Termodinamica Applicata, Cleup Editore, Padova.
- A. BEJAN, Advanced Engineering Thermodynamics, Wiley, 1988.
- K. WARK Jr, Advanced Thermodynamics for Engineers, McGraw-Hill, Inc. 1995.
- P. GREGORIO, Esercizi di Fisica Tecnica, Ed. Levrotto & Bella, Torino. 1995.
- C. BOFFA, P. GREGORIO, Elementi di Fisica Tecnica Vol.2, Ed. Levrotto & Bella, Torino.
- C. BONACINA, A. CAVALLINI, L. MATTAROLO, Trasmissione del Calore, Cleup Editore, Padova.
- F. KREITH, Principi di Trasmissione del Calore, Liguori Editore, Napoli, 1974.

Un esame tradizionale costituito da prova scritta e da un colloquio orale conclude il corso. Per coloro che hanno superato la valutazione scritta relativa al modulo A, l'esame verterà soltanto sui contenuti teorico/pratici del modulo B ed il voto finale risulterà dalla media pesata sui rispettivi numeri di crediti dei voti dei due moduli. Per coloro che non hanno superato la valutazione del modulo A (o che non hanno ritenuto di sfruttarne la possibilità) l'esame finale sarà unico.

Presentazione del corso

Il corso è diviso in tre moduli da considerare nella loro interezza. Il corso è diviso in tre moduli da considerare nella loro interezza. Il corso è diviso in tre moduli da considerare nella loro interezza.

Programmi

Analisi e il Fluidodinamica I e II

Programma

Verifica delle equazioni generali del moto dei fluidi e analisi le proprietà del processo di diffusione e di propagazione, nonché la dinamica della vorticità. Il programma è articolato in questi argomenti: - Il modello del continuo, tecniche lagrangiane e euleriane di rappresentazione, le equazioni di bilancio, campi di vorticità, numeri caratteristici (circa 10 ore); - Propagazione di onde e diffusione molecolare (circa 5 ore); - Moto vorticoso: vortici ed evoluzione della vorticità (circa 5 ore); - Sistemi di linee decedenti del campo di moto di diversa scala eseguite in termini di un approccio applicativo in occasione del contenuto del Modulo A, né in generale quella delle proprietà delle equazioni differenziali alle derivate parziali. Gli argomenti trattati sono: - Equilibrio statico e stabilità dell'atmosfera, scomposizione vorticoso con il termine, vorticità di corrente, vorticità generata dai vortici locali; - Campi di moto attorno a un ostacolo, resistenza di attrito e di forma, velocità di caduta e capacità di impatto delle particelle, strutture delle zone turbolente vorticosamente; - Altri aspetti di vorticità secondaria; - Campi di moto di grande scala, vortici geostrofici, configurazione cicloniche e anticicloniche, interazione con il terreno e concetto di scirocco, vortici termici, fronte caldo e freddo, vorticità baroclinica e caratteristiche dei campi turbolenti, con particolare riguardo alle zone di vorticità secondaria; - Descrizione turbolenta, transizione di una classe di turbolenza turbolenta e scale; - Proprietà e limiti del modello; - Generalmente diversi tra dispersione turbolenta e scale; - Analisi di caso e vortici nelle correnti turbolente decedenti scalari (circa 10 ore); - Altri argomenti di vorticità secondaria, vortici termici, fronte caldo e freddo, vorticità baroclinica e caratteristiche dei campi turbolenti, con particolare riguardo alle zone di vorticità secondaria; - Descrizione turbolenta, transizione di una classe di turbolenza turbolenta e scale; - Proprietà e limiti del modello; - Generalmente diversi tra dispersione turbolenta e scale; - Analisi di caso e vortici nelle correnti turbolente decedenti scalari (circa 5 ore); - Altri argomenti di vorticità secondaria, vortici termici, fronte caldo e freddo, vorticità baroclinica e caratteristiche dei campi turbolenti, con particolare riguardo alle zone di vorticità secondaria.

## **B2090 FLUIDODINAMICA AMBIENTALE**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Claudio CANCELLI</b>

---

### **Presentazione del corso**

Materia del corso è la descrizione dei moti naturali dell'atmosfera e delle acque. Elementi costitutivi sono le equazioni fondamentali dei moti di fluido e l'analisi delle loro possibili semplificazioni, i lineamenti della diffusione molecolare e della propagazione per onde, la genesi e l'evoluzione della vorticità, le caratteristiche dei flussi turbolenti - con un particolare riguardo alla loro capacità di dispersione - e la trattazione statistica degli stessi, i venti geostrofici ed il moto dell'aria negli strati bassi dell'atmosfera, le teorie di similarità per lo strato limite terrestre. Le ore di esercitazione sono in parte applicative, in parte di chiarimento sugli aspetti concettualmente più complessi. Il corso è diviso in tre moduli da considerare nella loro successione.

### **Prerequisiti**

Analisi I e II, Fisica Generale I e II.

### **Programma**

Vengono dedotte le equazioni generali del moto dei fluidi e analizzate le proprietà essenziali dei processi di diffusione e di propagazione, nonché la dinamica della vorticità. Il programma è articolato in quest'ordine:

- Il modello del continuo, tecniche lagrangiane o euleriane di rappresentazione, le equazioni di bilancio, cenni di cinematica, numeri caratteristici (circa 16 ore).
- Propagazione di onde e diffusione molecolare (circa 8 ore);
- Moti vorticosi: genesi ed evoluzione della vorticità (circa 8 ore).

Si tratta di una descrizione dei campi di moto di diversa scala eseguita in termini tali da non richiedere obbligatoriamente la conoscenza dei contenuti del Modulo A, né in generale quella delle proprietà delle equazioni differenziali alle derivate parziali. Gli argomenti trattati sono:

- Equilibrio statico e stabilità dell'atmosfera, scambio energetico con il terreno, ascesa di correnti termiche, genesi di venti locali.
- Campi di moto attorno a un ostacolo, resistenza di attrito e di forma, velocità di caduta e capacità di impatto delle particelle, struttura delle scie, rumore di origine aerodinamica.
- Alcuni aspetti di vorticità secondaria.
- Campi di moto di grande scala, venti geostrofici, configurazioni cicloniche e anticicloniche, interazione con il terreno e concetto di strato limite, venti termici, fronti caldi e freddi. Vengono descritte le caratteristiche dei campi turbolenti, con particolare riguardo alle loro proprietà di dispersione. L'articolazione degli argomenti è la seguente:
- Aspetti di caos e ordine nelle correnti turbolente; descrizione statistica (circa 10 ore).
- Dispersione turbolenta: statistica di una classe di traiettorie, il modello diffusivo, proprietà e limiti del modello. Sostanziale diversità tra dispersione turbolenta e accelerazione turbolenta dei processi diffusivi (circa 8 ore).
- Struttura dello strato limite terrestre; teorie di similarità (circa 8 ore).

## Bibliografia

Appunti a cura del docente

D.J. TRITTON, *Physical Fluid Dynamics*, Van Nostrand Reinhold, London 1980.

R.S. SCORER, *Environmental Aerodynamics*, Ellis Horwood, Chichester 1978.

## Esame

Esame tradizionale sull'insieme dei tre moduli costituito da un colloquio.

## Programma

- La legge di conservazione della massa e l'equazione di continuità per un fluido in moto stazionario.
- Le equazioni di conservazione della quantità di moto e l'equazione di Navier-Stokes per un fluido viscoso.
- Il concetto di flusso potenziale e l'equazione di Laplace per il potenziale di velocità.
- Il metodo delle similitudini e l'analisi dimensionale.
- La teoria degli strati limite e l'equazione di Prandtl.
- La teoria della turbolenza e l'equazione di Reynolds.
- La teoria della resistenza all'avanzamento e l'equazione di D'Alembert.
- La teoria della resistenza laterale e l'equazione di Kutta.
- Studio di problemi classici: l'ala, il profilo, il cilindro, il cono, il paraboloide.
- Le equazioni di Navier-Stokes per un gas e l'equazione di Boltzmann.
- Caratteristiche sperimentali di un gas.
- La correlazione di Reynolds e i problemi di flusso in un tubo.
- Collegio dei dati sperimentali NASA.

## B6100 FLUIDODINAMICA DEI SISTEMI PROPULSIVI

Periodo: 1  
Crediti: 10  
Precedenze obbligatorie:  
Docente: da nominare

---

### Presentazione del corso

Il corso ha per obiettivo lo studio dei principali problemi fluidodinamici connessi al progetto e all'analisi di sistemi propulsivi aeronautici e spaziali. Formalmente strutturato in lezioni ed esercitazioni, esso è organizzato in maniera da far acquisire agli allievi le tecniche di calcolo di campi fluidodinamici per mezzo di immediate applicazioni numeriche delle nozioni teoriche impartite. PC e terminali situati nel laboratorio informatico del DIASP e collegati a un elaboratore vengono messi a disposizione degli allievi in sede di lezione come strumenti didattici, sia per vedere le modalità dello svolgersi di programmi di calcolo forniti dal docente, sia per produrre programmi sviluppati dagli allievi stessi.

### Bibliografia

- M.J. Zucrow, J.D. Hoffman: Gas Dynamics, John Wiley & Sons.

Per consultazione:

- W.H. Heiser, D.T. Pratt: Hypersonic Airbreathing Propulsion, AIAA Education Series.
- C. Hirsch: Numerical Computation of internal and external flows, John Wiley & Sons.

## **B2120 FLUIDODINAMICA DELLE TURBOMACCHINE**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Luca ZANNETTI

---

### **Presentazione del corso**

Il corso fornisce strumenti teorici e computazionali di base per l'analisi del campo di moto delle turbomacchine e per il loro progetto.

Data per acquisita dagli allievi, nell'ambito dei corsi di MACCHINE, la "teoria impulsiva", che permette di determinare alcune proprietà dei campi di moto all'esterno di opportune superfici di controllo racchiudenti schiere di profili, con questo corso si intende fornire mezzi analitici, empirici, numerici, che permettono la descrizione dell'insieme dei fenomeni fluidodinamici che avvengono all'interno dei canali interpalari e che costituiscono la base dei metodi di analisi e progetto di schiere palettate.

Pur essendo la trattazione rivolta al complesso delle turbomacchine, l'accento è posto in particolare sul compressore assiale, che è macchina di particolare interesse sia motoristico che fluidodinamico.

Utile agli studenti aerospaziali la conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di AERODINAMICA, GASDINAMICA, mentre è utile ai meccanici l'acquisizione del corso di FLUIDODINAMICA.

### **Prerequisiti**

Si considerano già acquisiti gli argomenti turbomacchinistici e di termodinamica delle macchine trattati nei corsi di MACCHINE.

### **Programma**

- Le equazioni di continuità, quantità di moto e energia, reggenti il moto di un fluido compressibile non viscoso (equazioni di Eulero).
- Le equazioni di continuità, quantità di moto e energia, reggenti il moto di un fluido compressibile non viscoso (equazioni di Eulero).
- Le equazioni del moto nel riferimento cartesiano e nel riferimento cilindrico.
- Il flusso bidimensionale irrotazionale: il potenziale di velocità, l'equazione del potenziale e l'equazione della funzione di corrente.
- Il potenziale complesso, la velocità complessa.
- Il metodo delle trasformazioni conformi per schiere di profili.
- Le forze agenti su profili isolati, formula di Blasius.
- Le forze agenti su una schiera palettata, generalizzazione del teorema di Kutta-Joukowski.
- Schiere di profili con geometria arbitraria, la trasformazione di Ives e la trasformazione di Theodorsen-Garrick.
- Stadio di compressore assiale: Fattore di carico, coefficiente di portata, grado di reazione.
- Linea di evoluzione termodinamica di un gas attraverso uno stadio.
- Caratteristiche sperimentali di schiere.
- La correlazione di Howell, problemi di analisi e di progetto.
- Collezione dei dati sperimentali NACA.



- Effetti legati alla comprimibilità: Mach critico, Mach massimo, choking, loro dipendenza dall'incidenza.
- Effetto del grado di reazione sullo stallo in bassa e alta velocità.
- Equilibrio radiale: problema di progetto e di analisi.
- Progetto di uno stadio: criteri di svergolamento.
- Flussi secondari.
- Stallo rotante, pompaggio.
- Linee caratteristiche, onde d'urto.
- Urti ed espansioni su bordi d'attacco e di uscita.
- Correnti supersoniche assialmente subsoniche.
- L'incidenza unica: la soluzione di Ferri e il metodo di Levine
- La "tecnica dipendente dal tempo".
- Moto 1D: metodo delle caratteristiche; metodi "lambda" alle differenze finite; le leggi di conservazione e loro discretizzazione.
- Moto multidimensionale: varietà caratteristiche, bicaratteristiche
- Flussi in condotti e schiere: problemi di progetto e di analisi.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Esercizi di applicazione degli argomenti svolti a lezione.

### **Bibliografia**

- Dispense del docente.
- Horlock, Axial Flow Compressors.
- Vavra, Aero-thermodynamics of turbomachinery.
- C. Hirsch: Numerical Computation of Internal and External Flows.

### **Esame**

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso.

## **B2140 FLUIDODINAMICA SPERIMENTALE**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Gaetano IUSO</b>

---

### **Presentazione del corso**

In laboratorio saranno preparate esercitazioni dedicate all'apprendimento delle tecniche di misura e allo studio della struttura turbolenta di getti, scie e flussi di parete. Saranno organizzate anche esercitazioni dedicate sia verso lo studio di impianti esistenti in laboratorio, sia verso quelle sperimentazioni in fase di svolgimento nelle varie gallerie del vento specifiche di attività di ricerca.

### **Prerequisiti**

Aerodinamica e Gasdinamica.

### **Programma**

Similitudine fluidodinamica con applicazioni alla sperimentazione fluidodinamica. Tecniche per la misura della pressione sia in condizioni stazionarie che non stazionarie. Misura della temperatura in una corrente gassosa e sulla parete lambita. Misura della concentrazione di sostanze gassose. Descrizione generale di getti piani e assialsimmetrici. Introduzione allo studio delle scie. Metodologie per la determinazione del vettore velocità in flussi 2D e 3D.

Tecniche di visualizzazione di flussi. Errori di misura: applicazione della teoria dell'errore alla misura delle grandezze fluidodinamiche, calcolo della propagazione dell'errore in una catena di misura. Tecniche di acquisizione di dati.

Anemometria a filo caldo. Anemometria laser Doppler e Speckle laser velocimetry. Lo strato limite terrestre. Scie di corpi tozzi e scie periodiche. Gallerie del vento subsoniche di impiego a e aeronautico, di impiego automobilistico, civile e ambientale: architettura, requisiti e criteri di progetto, problematiche della sperimentazione. Descrizione e funzionamento delle gallerie transoniche, supersoniche e ipersoniche. Tecniche per la misura dello sforzo di attrito a parete in flussi 2D e 3D. Analisi sperimentale di un flusso turbolento: intensità turbolenta, funzione densità di probabilità e momenti di ordine superiore, energia cinetica turbolenta, sforzi di Reynolds, vorticità, correlazioni spazio-temporali, macroscale e microscale della turbolenza, spettro di energia, intermittenza e dissipazione.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Gli argomenti trattati a lezione saranno supportati e implementati con attività di laboratorio. In una prima fase saranno allestite esercitazioni dedicate all'acquisizione delle varie tecniche di misura, saranno quindi studiate sperimentalmente le strutture di base di getti, scie e stratilimite. Saranno organizzate anche esercitazioni dedicate verso quelle sperimentazioni in fase di svolgimento nelle varie gallerie del vento.

In laboratorio saranno preparate esercitazioni dedicate all'apprendimento delle tecniche di misura e allo studio della struttura turbolenta di getti, scie e flussi di parete. Saranno organizzate anche esercitazioni dedicate sia verso lo studio di impianti esistenti in laboratorio, sia verso quelle sperimentazioni in fase di svolgimento nelle varie gallerie del vento specifiche di attività di ricerca.

## Bibliografia

- R.J. Goldstein, Fluid Mechanics Measurements.  
P. Bradshaw, Experimental Fluid Mechanics.  
D.J. Tritton, Physical Fluid Dynamics.  
A. Pope, Wind Tunnel Testing.

## Esame

Per coloro che hanno superato la prova scritta relativa al modulo A l'esame verterà soltanto sui contenuti del modulo B e consiste nella discussione critica di una o più esercitazioni di laboratorio e nella verifica orale di alcuni argomenti trattati a lezione. Il voto finale risulterà dalla media pesata sui rispettivi numeri di crediti dei voti dei due moduli. Per coloro che non hanno superato la valutazione del modulo A<sub>0</sub> che non hanno ritenuto di sfruttarne la possibilità l'esame finale sarà unico.

## **B2220    GASDINAMICA**

Periodo: 2  
Crediti: 10  
Precedenze obbligatorie:  
Docente: **Massimo GERMANO**

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di dare le basi fisico matematiche necessarie per analizzare gli effetti di gaseale nei moti fluidi. Particolare attenzione viene dedicata allo studio degli effetti rotazionali, viscosi, termici e chimici in aria ad alti numeri di Reynolds e di Mach. Le conoscenze acquisite vengono applicate allo studio dei flussi interni, dello strato limite viscoso, termico e compressibile, dei flussi separati, della resistenza di attrito e forma, del riscaldamento aerodinamico.

### **Prerequisiti**

Aerodinamica.

### **Programma**

Panoramica dei problemi aero-termo-gasdinamici connessi con il flusso intorno ad un corpo. Tecniche di indagine teorica e sperimentale. Teoria cinetica dei gas. Proprietà termodinamiche e di trasporto. Equazioni di bilancio. Parametri di similitudine.

Fenomenologia dei flussi. Flussi potenziali, rotazionali, viscosi, compressibili e reagenti. Flussi interni, esterni e liberi. Flussi laminari, transizionali e turbolenti. Flussi attaccati e separati. Soluzioni rappresentative. Puri flussi di punta. Onde d'urto. Puri flussi di taglio. Flusso di Couette piano e cilindrico. Vortice di Rankine. Flussi nei tubi e nei canali. Flussi di mescolamento. Formulazioni pratiche. Perdite di carico nei tubi. Resistenza di attrito su di una lamina piana. Fenomenologia dello strato limite. Equazioni dello strato limite in forma differenziale e in forma integrale. Strato limite laminare. Soluzioni esatte sulla lamina piana e in vicinanza di un punto di arresto. Metodo integrale di Thwaites. Separazione laminare. Instabilità dello strato limite e transizione alla turbolenza. Criteri di transizione. Turbolenza. Strato limite turbolento. Modelli di turbolenza. Metodo integrale di Head. Separazione turbo lenta.

Strato limite termico e compressibile. Analogia dei campi e degli scambi. Correzione del coefficiente di attrito.

Dissociazione dell'aria e riscaldamento aerotermodinamico ad alti numeri di Mach.

### **Bibliografia**

M. GERMANO, Appunti di Gasdinamica, fotocopie.

G. IUSO, F. QUORI, Gasdinamica. Problemi risolti e richiami di teoria, Levrotto e Bella, Torino.

### **Esame**

Prova orale.

## **B2222      GADINAMICA II**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Renzo ARINA</b>

---

### **Presentazione del corso**

Scopo del corso è quello di introdurre i principali metodi numerici per la soluzione delle equazioni di convezione-diffusione, e la loro applicazione alla soluzione delle equazioni della Meccanica dei Fluidi per flussi viscosi, con particolare riferimento al caso di fluidi incomprimibili. Le metodologie numeriche sono applicate alla simulazione di flussi di interesse ingegneristico.

Nella seconda parte del corso si affrontano i temi della simulazione di flussi turbolenti, e simulazioni utilizzando differenti modelli fisici all'interno del dominio di calcolo. In quest'ultima categoria rientrano i problemi di trasmissione del calore ed i problemi di interazione fluido-struttura.

Nell'ambito del corso sono previste esercitazioni al computer, consistenti nella stesura di programmi in Fortran, durante le quali i metodi di calcolo presentati a lezione sono applicati per la simulazione di flussi di interesse pratico.

### **Prerequisiti**

Aerodinamica - Gasdinamica - Calcolo Numerico.

### **Programma**

Metodi alle differenze finite, ed ai volumi finiti, per equazioni ellittiche e per problemi di evoluzione: schemi di discretizzazione spaziale ed integrazione temporale, soluzione del sistema lineare, estensione al caso non lineare, estensione al caso multidimensionale (10 ore).

Metodi agli elementi finiti: principi generali, cenni sui metodi di Galerkin e Petrov-Galerkin (4 ore).

Metodi numerici per la soluzione delle equazioni di Navier -Stokes per fluidi incomprimibili: formulazione funzione di corrente-vorticità, formulazione velocità-p pressione (18 ore).

Coordinate curvilinee e trasformazione delle equazioni di bilancio, griglie di calcolo strutturate e non strutturate, cenni sui metodi di generazione delle griglie per il calcolo fluidodinamico (4 ore).

Simulazione di flussi turbolenti: formulazione statistica delle equazioni del moto, modelli di chiusura e loro applicazione nei codici di calcolo, descrizione delle soluzioni adottate nei codici di calcolo fluidodinamico commerciali; cenni sulla simulazione delle grandi scale del moto e modelli di sottogriglia (Large Eddy Simulation) (15 ore).

Sistemi compositi in fluidodinamica e tecniche di decomposizione del dominio di calcolo: simulazione di flussi turbolenti complessi mediante l'impiego di differenti modelli di turbolenza e leggi di parete; scambio termico tra un corpo solido lambito da una corrente fluida e la corrente stessa; interazione fluido-struttura (15 ore).

## Laboratori e/o esercitazioni

Richiami del linguaggio di programmazione Fortran, codice di calcolo per la soluzione di sistemi tridiagonali (2 ore).

Metodi alle differenze-finite/volumi-finiti:

1) programma di calcolo per la soluzione dell'equazione di Laplace in coordinate polari, calcolo del campo di moto potenziale attorno ad un cilindro.

2) Programma di calcolo per la soluzione dell'equazione lineare scalare di convezione-diffusione monodimensionale.

3) Estensione del programma precedente per la soluzione dell'equazione di Burgers.

4) Programma di calcolo per la soluzione dell'equazione lineare scalare di convezione-diffusione bidimensionale (10 ore).

Metodi agli elementi finiti: programma di calcolo per la soluzione dell'equazione scalare lineare di convezione-diffusione mediante proiezione di Galerkin (2 ore).

Equazioni di Navier-Stokes: programma di calcolo per la soluzione delle equazioni in formulazione funzione di corrente-vorticità, calcolo del strato limite su lamina piana e del flusso in un canale piano (10 ore).

Simulazione di flussi turbolenti: estensione di un programma di calcolo per la soluzione delle equazioni di Navier-Stokes al caso di flussi turbolenti, simulazione dello strato limite turbolento lungo una lamina piana (6 ore).

Interazione fluido-struttura: soluzione del campo di moto fluidodinamico unidimensionale interagente con una parete elastica (4 ore).

## Bibliografia

Appunti del corso forniti dal docente

Per consultazione:

D.A. Anderson, J.C. Tannehill, R.H. Pletcher, Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, McGraw-Hill, 1987.

J.H. Ferziger, M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer, 1996.

## Esame

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso.

## **B2570 IMPIANTI AERONAUTICI**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Lorenzo BORELLO</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone anzitutto di fornire agli Allievi la metodologia della Progettazione Sistemistica, con esemplificazioni basate sui più importanti impianti (o, meglio, sottosistemi) di bordo; così facendo si fornirà una sintetica panoramica degli stessi sottosistemi. Quindi si illustreranno i fondamenti di alcune tra le più usuali metodologie dell'Ingegneria Sistemistica.

### **Prerequisiti**

Fisica I e II - Fisica Tecnica - Elettrotecnica - Meccanica del volo - Costruzioni Aeronautiche.

### **Programma**

Finalità e caratteristiche della Progettazione Sistemistica.

Esame dei sotto elencati impianti di bordo:

Comandi di volo

Carrello d'atterraggio

Impianto idraulico

Impianto elettrico

Impianti pneumatico, condizionamento, anti-ghiaccio, A.P.U., avviamento motori

Impianto combustibile

Avionica

Per agevolare l'apprendimento saranno effettuate esercitazioni di laboratorio, simulazioni al computer e visite guidate.

- Elementi applicativi di controlli automatici.
- Controllo computerizzato degli impianti.
- Previsione di Pesi e Costi.
- Cenni alle problematiche installative mediante tecniche di "Digital Mock-Up".
- Affidabilità, manutenzione e supporto logistico integrato; costo del ciclo di vita e "efficienza di sistema".
- Sicurezza.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

- Esercitazioni di progettazione sistemistica per: impianto idraulico, elettrico, pneumatico.
  - Simulazioni al calcolatore di attuatore oleodinamico, di circuito idraulico e di avviamento pneumatico.
  - Esercitazioni di laboratorio su banchi didattici "comandi di volo", "idraulico", "elettrico", "prova ventilatori".
- Esercitazioni al calcolatore su controlli automatici e Laboratorio CAD.  
Esercitazioni in aula su Previsione Pesi e Costi e su tecniche per l'affidabilità, la manutenzione (e stima della relativa entità) e la sicurezza.

## Bibliografia

- S. CHIESA, Impianto idraulico. CLUT, Torino.  
S. CHIESA, Impianto elettrico. CLUT, Torino.  
S. CHIESA, Impianti pneumatico, condizionamento aria e anti-ghiaccio. CLUT, Torino.  
S. CHIESA, Impianto combustibile. CLUT, Torino.  
S. CHIESA Sicurezza, affidabilità e manutenzione nel progetto dei sistemi. CLUT, Torino.  
Altro materiale didattico sarà fornito dal Docente per quanto non coperto da testi.

## Esame

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso.



## B3110    **MACCHINE**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Marco BADANI</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso fornisce agli allievi aeronautici gli elementi di base per lo studio delle macchine a fluido, analizzando gli aspetti costruttivi, i principi di funzionamento, le prestazioni ed i metodi utilizzati per la regolazione delle principali macchine motrici ed operatrici. Il corso è suddiviso in due moduli, il primo dei quali dedicato alle turbomacchine, il secondo alle macchine volumetriche.

### **Prerequisiti**

Fisica Tecnica e Meccanica Applicata alle Macchine.

### **Programma**

*Richiami di Termodinamica [6 ore].*

Classificazione delle macchine a fluido. I Principio della Termodinamica in forma Lagrangiana ed Euleriana. II Principio della Termodinamica. Leggi di evoluzione. Classificazione dei rendimenti e dei lavori per le macchine motrici ed operatrici.

*Ugelli e diffusori [6 ore].*

Velocità del suono e proprietà di ristagno in una corrente fluida. Flusso adiabatico ed isoentropico di una corrente unidimensionale stazionaria. Pressione critica e condizioni di criticità. Funzionamento di ugelli e diffusori in condizioni di progetto e "fuori progetto". Rendimento di ugelli e diffusori.

*Turbine [ 11 ore].*

Espressione del lavoro in una turbomacchina; triangoli di velocità. Turbina assiale semplice ad azione; descrizione della macchina, triangoli di velocità, profili delle palettature;

espressione del lavoro e del rendimento nel caso ideale e reale; variazione dei coefficienti di perdita in condizioni di progetto e fuori progetto. Turbina assiale a salti di velocità; descrizione della macchina, triangoli di velocità e profili delle palettature; espressione del lavoro e del rendimento nel caso ideale. Rendimento della turbina a salti di velocità nel caso reale e confronto con la turbina semplice. Turbina a salti di pressione: fattore di recupero. Turbina assiale semplice a reazione; grado di reazione; triangoli di velocità e profili delle palettature; espressione del lavoro e del rendimento nel caso ideale e reale; confronto con la turbina ad azione. Perdite caratteristiche delle turbine a reazione. Cenni sulle turbine radiali semplici: salto entalpico elaborabile, espressione del lavoro e triangoli di velocità.

*Turbocompressori [ 11 ore].*

Lavoro di compressione ideale e reale con scambi termici.

Compressione isoterma e interrefrigerata; calcolo del minimo lavoro di compressione. Rendimento isoentropico ed idraulico. Compressore centrifugo: triangoli di velocità, lavoro di compressione e sua espressione in funzione dei coefficienti adimensionati. Determinazione della caratteristica manometrica del compressore centrifugo. Grado di reazione e suo andamento al variare dell'angolo di uscita delle palettature.

Compressore assiale: triangoli di velocità e profili delle palettature. Espressione del lavoro di compressione e sua espressione in funzione dei coefficienti adimensionati; caratteristica manometrica del compressore assiale. Instabilità di funzionamento del compressore: ciclo di pompaggio e stallo rotante. Problematiche relative all'avviamento dei turbocompressori assiali. Regolazione dei turbocompressori.

*Turbopompe [4 ore].*

Definizioni delle grandezze caratteristiche di funzionamento e dei rendimenti delle macchine idrauliche operatrici. Caratteristica di una turbopompa centrifuga e assiale. Problematiche relative all'installazione delle turbopompe: cavitazione ed NPSH. Regolazione e avviamento delle turbopompe. Funzionamento in similitudine delle turbopompe: numero di giri caratteristico.

*Compressori volumetrici [8 ore].*

Compressori alternativi: ciclo della macchina ed espressione del lavoro nel caso ideale e con perdite. Metodi di regolazione dei compressori alternativi. Compressore rotativo a palette: ciclo della macchina ed espressione del lavoro. Regolazione del compressore a palette per laminazione all'aspirazione. Compressore Roots: ciclo della macchina ed espressione del lavoro; compressione interrefrigerata; andamento del rendimento volumetrico in funzione del numero di giri e del rapporto di compressione.

*Motori alternativi a combustione interna [22 ore].*

Scelta del ciclo ideale per motori ad accensione comandata e ad accensione per compressione; espressione del rendimento ideale per i cicli Otto, Diesel e Sabathé. Espressione della potenza utile e della pressione media effettiva di un motore alternativo a combustione interna. Rendimento limite, rendimento termofluidodinamico e rendimento organico. Rendimento utile e suo andamento al variare del numero di giri del motore. Apparato della distribuzione nei motori alternativi. Coefficiente di riempimento dei 90 motori alternativi a quattro tempi; espressione semplificata del coefficiente di riempimento e suo andamento al variare del numero di giri del motore. Caratteristica meccanica, di regolazione e cubica di utilizzazione dei motori ad accensione comandata ed ad accensione per compressione. Combustione nei motori ad accensione comandata: velocità di combustione e di propagazione della fiamma; cenni sulle anomalie di combustione. Variazione dei rendimenti e della pressione media effettiva con la dosatura, variazione del rendimento utile in funzione della pressione media effettiva in un motore ad accensione comandata; regolazione di tipo aeronautico. Variazione della potenza utile del motore con la quota di volo. Motori "alleggeriti" e "sur-compressi". Problematiche relative alla sovralimentazione dei motori. Determinazione della potenza utile del motore sovralimentato mediante compressore mosso da turbina a gas di scarico ed a comando meccanico. Apparat di alimentazione per motori ad accensione comandata: carburatore elementare.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Nel corso delle esercitazioni in aula vengono sviluppati esercizi numerici sulle prestazioni delle macchine a fluido trattate a lezione. Gli esercizi vengono forniti dal docente durante le lezioni precedenti la relativa esercitazione.

Ulteriori esercizi relativi ai testi d'esame degli a.a. precedenti sono resi disponibili durante il semestre.

Nel corso dell'esercitazione in laboratorio viene effettuata la determinazione della caratteristica di una turbopompa assiale e l'individuazione delle condizioni di cavitazione.

Nel corso delle esercitazioni in aula vengono sviluppati esercizi numerici sulle prestazioni delle macchine volumetriche trattate a lezione. Gli esercizi vengono forniti dal docente durante le lezioni precedenti la relativa esercitazione.

Nel corso dell'esercitazione in laboratorio viene effettuata la determinazione della caratteristica meccanica di un motore alternativo ad accensione comandata. È inoltre prevista una visita alla raccolta dei motori aeronautici del Dipartimento di Energetica con una descrizione delle principali caratteristiche costruttive.

### **Bibliografia**

- A. BECCARI, *Macchine*, CLUT, Torino, 1980.
- A.E. CATANIA, *Complementi di Macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1979.
- A. DADONE, *Macchine Idrauliche*, CLUT, Torino, 1980.
- A. CAPETTI, *Motori Termici*, UTET, Torino, 1967.
- A. CAPETTI, *Compressori di Gas*, V. Giorgio, Torino, 1971.
- G. FERRARI, *Motori a combustione interna*, Ed. Il Capitello, Torino, 1992.

### **Esame**

Al termine del secondo semestre è possibile una valutazione scritta sui contenuti del modulo "Macchine volumetriche" consistente nello svolgimento di due esercizi numerici. Il superamento di questa prova di valutazione, unitamente alla precedente relativa ai contenuti del modulo "Turbomacchine" comporta l'esonero dalla prova scritta finale. Questa valutazione parziale è possibile soltanto in questa occasione: lo studente che non la utilizza o non la supera dovrà sottoporsi all'esame complessivo. Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso. Per accedere al colloquio orale è necessario aver sostenuto preventivamente una prova scritta, consistente nello svolgimento di esercizi numerici, oppure aver superato entrambi gli esoneri relativi al modulo "Turbomacchine" ed al modulo "Macchine volumetriche".

## **B3170 MATEMATICA APPLICATA**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Miriam PANDOLFI</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone lo scopo di fornire alcuni metodi matematici idonei alla modellizzazione e all'analisi qualitativa e quantitativa di sistemi di interesse in campo aeronautico. I temi trattati si compendiano in una prima parte dedicata alle equazioni differenziali ordinarie, principalmente del secondo ordine, comprendendo i problemi ai valori al contorno ed agli autovalori, i sistemi di Sturm-Liouville e le tecniche di soluzione, e in una seconda parte, relativa alle equazioni alle derivate parziali, in cui sono trattati problemi connessi con la diffusione, le vibrazioni e il potenziale, in una e più dimensioni spaziali.

### **Prerequisiti**

Si ritiene opportuno che lo studente abbia una buona conoscenza dei contenuti dei corsi di Analisi Matematica I e Meccanica Razionale, PET.

### **Programma**

Problemi ai valori al contorno. Problemi ben posti. Formulazione operatoriale, esistenza e unicità delle soluzioni. Sistemi fondamentali di soluzioni, metodo di variazione dei parametri e di riduzione dell'ordine; formula di Abel, equazione di Eulero Cauchy; modello della conduzione stazionaria del calore.

Problemi agli autovalori. Equazioni agli autovalori di Legendre, Bessel, Laguerre, Hermite.

Applicazioni a problemi connessi con la determinazione di configurazioni di equilibrio ed a fenomeni stazionari. Equazioni unidimensionali di Poisson e di Helmholtz.

Teoria di Sturm Liouville. Equazioni differenziali autoaggiunte. Operatori simmetrici, identità di Lagrange e formula di Green. Principali proprietà delle autofunzioni e degli autovalori di un operatore simmetrico. Sistemi di Sturm Liouville regolari, periodici e singolari.

Metodi di approssimazione delle soluzioni. Impiego delle tecniche della Collocazione e di Galerkin per la soluzione approssimata di problemi sia ai valori al contorno sia agli autovalori, relativamente al calcolo di linee elastiche, carichi critici e velocità critiche. Soluzione di problemi ai valori iniziali e al contorno con il metodo della funzione di Green.

Funzioni di Heaviside e delta di Dirac; interpretazione fisica delle funzioni di Green.

Introduzione alle equazioni alle derivate parziali. Classificazione delle equazioni del secondo ordine lineari; problemi ben posti. Equazioni a coefficienti costanti. Soluzione di D'Alambert dell'equazione delle onde unidimensionale; caratteristiche. Le equazioni della fisica matematica. Metodo della separazione delle variabili.

Rappresentazione di funzioni. Serie di Fourier, disuguaglianza di Bessel e teorema di Riemann, serie di Fourier generalizzate e loro impiego nei problemi ai valori al contorno.

Trasformate e antitrasformate di Fourier, proprietà operatoriali e convoluzione, loro impiego nei problemi in domini illimitati.

Problemi ai valori iniziali e al contorno per l'equazione del calore. Modello unidimensionale: caratterizzazione delle soluzioni per differenti insiemi di condizioni al contorno, con e senza termine di sorgente, con assegnata distribuzione iniziale di temperatura. Modello bidimensionale (piastra piana isotropa).

Problemi ai valori iniziali e al contorno per l'equazione delle onde. Modello unidimensionale.

Moti liberi e forzati della corda vibrante. Membrana vibrante fissa ai bordi, rettangolare e circolare.

Equazione del potenziale. Proprietà delle funzioni armoniche. Problemi di Dirichlet e di Neumann per un disco. Problemi del potenziale in un anello circolare.

Problemi in più dimensioni. Distribuzione stazionaria della temperatura nel cilindro e del potenziale nella sfera cava.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Sono proposte agli studenti applicazioni relative a problemi ai valori al contorno, come la sezione variabile del pilastro caricato di punta, le deformate della corda elastica e della trave in diverse configurazioni di vincolo e di carico, e a problemi agli autovalori, come le velocità critiche e i modi di deformazione della corda rotante, il carico di Eulero e altri. Per le esercitazioni al LAIB verranno forniti dal docente gli algoritmi necessari con i relativi programmi di calcolo, che gli studenti, suddivisi in gruppi di 2-5 unità, implementeranno di volta in volta, autonomamente.

Tutti gli esercizi sviluppati in questa sede, descritti nel dettaglio sia per quanto riguarda la loro collocazione teorica sia per quanto attiene alla visualizzazione grafica e all'interpretazione dei risultati, verranno organizzati e raccolti in una tesina, redatta nel word processor prescelto, a nome di ogni componente del gruppo.

Sono proposti agli studenti le seguenti applicazioni. Studio grafico della convergenza di alcune serie di Fourier. Problema di trasmissione del calore per una barra ad estremi a temperatura costante: studio del transitorio e della soluzione di equilibrio per diversi materiali. Impiego del metodo delle quadrature differenziali per un'equazione del calore non lineare. Studio della risonanza per un cavo di sospensione fisso agli estremi e soggetto a raffica. Frequenze proprie della membrana elastica fissa ai bordi. Gli studenti, sempre a gruppi di 2-5, svolgeranno al LAIB tutti i calcoli e le visualizzazioni grafiche degli argomenti sopra menzionati, utilizzando i programmi che verranno forniti, al fine di redigere una tesina, con caratteristiche analoghe a quelle del lavoro sviluppato nel modulo A.

### **Bibliografia**

L. C. ANDREWS, Elementary partial differential equations with boundary value problems, Academic Press 1986.

J. H. MATHEWS, Numerical methods for computer science, engineering and mathematics, Prentice-Hall Int. Ed., 1987.

### **Esame**

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso, unitamente alla discussione della tesina comprensiva degli argomenti relativi ai due moduli.

## **B3210    MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Furio VATTA</b>

---

### ***Presentazione del corso***

Lo scopo del corso è quello di fornire agli allievi gli elementi fondamentali per poter affrontare lo studio dei problemi meccanici che concernono le macchine. I temi trattati riguardano in particolar modo la dinamica applicata e la cinematica applicata. Il corso si rivolge agli studenti aeronautici e pertanto alcuni dei temi trattati sono finalizzati al curriculum degli studi dei suddetti studenti. Una parte non indifferente del corso è dedicata alla teoria della lubrificazione idrodinamica, argomento quest'ultimo che non trova, in generale, adeguato spazio nei programmi di insegnamento.

### ***Prerequisiti***

È indispensabile la conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di Meccanica Razionale e Scienza delle Costruzioni.

### ***Programma***

- Equazioni cardinali della dinamica. Applicazioni: equilibramento, fenomeni giroscopici, vibrazioni meccaniche a parametri concentrati.
- Equazione dell'energia. Applicazioni: camme, macchine a regime periodico.
- Principio dei lavori virtuali. Applicazioni: ammortizzatori, sistemi non conservativi, dinamica dei rotori.
- Dinamica dei sistemi continui elastici. Applicazioni: vibrazioni libere e forzate, coordinate principali, criterio energetico approssimato (Principio di Rayleigh - Ritz), travi rotanti.
- Principi di tribologia. Tipi di attrito (radente e volvente): accoppiamenti prismatici, elicoidali e rotoidali. Reversibilità del moto.
- Legge dell'usura. Applicazioni a componenti meccanici ad attrito: freni e frizioni.
- Elementi di trasmissione del moto. Applicazioni: cinghie, funi, ingranaggi, rotismi ordinari ed epicicloidali, giunti.
- Lubrificazione idrostatica e idrodinamica. Applicazioni: coppie prismatiche piane e coppie rotoidali.

### ***Laboratori e/o esercitazioni***

Le esercitazioni si effettuano in aula. Agli allievi vengono assegnati alcuni esercizi da svolgere; tali esercizi sono successivamente affrontati e discussi dal docente. In aula è presente il docente titolare del corso ed un ricercatore.

## Bibliografia

- R. Malvano, F. Vatta, *Dinamica delle macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1993.  
C. Cancelli, F. Vatta, *Esercizi di meccanica applicata*, Levrotto & Bella, Torino, 1979.  
R. Malvano, F. Vatta, *Fondamenti di lubrificazione*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

## Esame

L'esame consiste in una prova orale durante la quale lo studente deve risolvere alcuni esercizi, analoghi a quelli svolti in esercitazione, e deve esporre alcune delle trattazioni analitiche che sono state sviluppate dal docente.

## **B3300 MECCANICA DEL VOLO**

Periodo: 1  
Crediti: 10  
Precedenze obbligatorie:  
Docente: Fulvia QUAGLIOTTI

---

### **Presentazione del corso**

Il corso illustra le nozioni fondamentali relative alle prestazioni dei velivoli, considerando il volo librato ed il volo del velivolo con motore a getto e con propulsione ad elica. Si studiano la manovra di decollo e di atterraggio, la virata e le principali manovre acrobatiche. Vengono analizzate la stabilità statica longitudinale e latero-direzionale ed i controlli. Vengono fornite le nozioni di base per lo studio della stabilità dinamica, con cenni sulle qualità di volo e sulla risposta del velivolo ai controlli.

### **Prerequisiti**

Aver acquisito le nozioni fondamentali di Fisica e Meccanica

### **Programma**

DEFINIZIONE E DESCRIZIONE DEL VELIVOLO, FORZE AGENTI, DEFINIZIONE DELLE PRESTAZIONI (4 ORE)

Definizione di aeromobile e velivolo, categorie di velivoli; elementi della configurazione del velivolo; moti del velivolo e controlli; nozioni di base sulla strumentazione e sulla navigazione aerea; forze agenti sul velivolo; definizione dei parametri relativi alle prestazioni.

L'ATMOSFERA E LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE. QUOTE, VELOCITÀ, VENTI (4 ORE)

Classificazione delle zone dell'atmosfera; l'atmosfera standard; stabilità dell'atmosfera. Definizione delle quote di volo e misura della quota; definizione delle velocità di volo e misura della velocità; venti.

LE FORZE AERODINAMICHE, EQUAZIONI FONDAMENTALI, MISURE SPERIMENTALI (4 ORE)

Richiami sulle caratteristiche del flusso; aerodinamica del profilo, dell'ala e della configurazione completa del velivolo; superfici aerodinamiche di controllo, effetti delle interferenze aerodinamiche; metodi per la misura sperimentale delle forze aerodinamiche e delle caratteristiche del flusso.

EQUAZIONI DEL MOTO DEL VELIVOLO (8 ORE)

Equazioni cardinali della meccanica dei corpi rigidi; trasformazioni di coordinate: angoli di Eulero ed algoritmi di trasformazione; sistemi di riferimento fondamentali; equazioni del moto del velivolo ed ipotesi semplificative; equazioni scalari del moto nei sistemi di riferimento assi corpo, stabilità e vento; specializzazione delle equazioni del moto allo studio delle prestazioni.

IL VOLO LIBRATO (4 ORE)

Equazioni del moto per il volo librato; angolo di rampa, velocità discensionale; autonomia oraria e chilometrica; il volo a vela.

I SISTEMI PROPULSIVI (4 ORE)

Propulsione a getto: turbogetto, turboprop, turbofan; confronto tra i diversi tipi di propulsore; propulsione ad elica: motore a pistoni e motore aspirato; eliche: calcolo della spinta e della coppia di reazione, parametri caratteristici, efficienza; tipi di elica, stati di funzionamento, rendimenti.



#### IL VOLO DEL TURBOGETTO (6 ORE)

Definizione del volo di crociera; equazioni del moto relative alla crociera; spinta necessaria e disponibile; l'autonomia oraria e chilometrica; ottimizzazione del volo di crociera: minima spinta, massime autonomie.

Il volo di salita; equazioni del moto di salita; parametri del volo di salita; salita rapida e salita ripida; ottimizzazione della fase di salita.

#### IL VOLO DEL VELIVOLO CON PROPULSIONE AD ELICA (6 ORE)

Il volo livellato; equazioni del moto; potenza necessaria; autonomia oraria e chilometrica; effetti del vento; ottimizzazione del volo di crociera. Il volo di salita; equazioni del moto di salita; parametri del volo di salita; salita ripida e salita rapida.

#### LA VIRATA (2 ORE)

Il volo in virata; equazioni del moto relative alla virata; tipi di virata e parametri relativi.

#### PRESTAZIONI IN DECOLLO E ATTERRAGGIO (4 ORE)

La manovra di decollo; la normativa; le velocità caratteristiche; analisi dei segmenti della fase di decollo (rullaggio, rotazione, sorvolo ostacolo); analisi della fase di atterraggio: calcolo di spazi e tempi; effetti del vento, della temperatura e della quota.

#### IL VOLO IN MANOVRA (2 ORE)

Descrizione delle principali manovre acrobatiche; fattore di carico; inviluppo di volo nella manovra; diagramma di manovra; limitazioni relative al fattore umano; spinta necessaria.

#### VOLO IN CONDIZIONI AVVERSE, METEOROLOGIA AERONAUTICA (2 ORE)

Volo in presenza di nebbia, turbolenza, nubi temporalesche, ghiaccio; correnti a getto in alta quota; windshear; collisione con uccelli in volo.

Simbologie, abbreviazioni, codici; previsioni meteorologiche generali e specifiche aeronautiche.

#### LA STABILITÀ STATICA E IL CONTROLLO (15 ORE)

Equilibrio stazionario nel piano di simmetria; stabilità statica longitudinale; contributo dei componenti del velivolo; margine statico; controllo longitudinale; sforzi di barra; posizione limite anteriore del baricentro.

Stabilità statica latero-direzionale; contributo dei componenti del velivolo; controllo direzionale; controllo in rollio.

#### STABILITÀ DINAMICA (15 ORE)

Metodo delle piccole perturbazioni; linearizzazione delle equazioni del moto; derivate di stabilità; modi caratteristici longitudinali e latero-direzionali.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Concetti introduttivi: unità di misura di interesse aeronautico - atmosfera standard - misurazione della velocità.

Il volo librato: autonomia oraria e chilometrica - odografa del moto ed effetto del vento e del carico alare - effetto della variazione della densità dell'aria con la quota - utilizzo della zavorra.

Turbojet (prestazioni istantanee): spinta necessaria e spinta disponibile, quota di tangenza teorica e pratica ed inviluppo di volo - salita rapida e salita ripida - correzione di energia cinetica.

Turbojet (prestazioni integrali): salita ottima (metodi energetici) - analisi delle strategie di crociera - analisi approssimata del profilo di missione (diagramma range-payload).

Turbojet (prestazioni in virata): virata al massimo fattore di carico - virata alla massima velocità angolare - virata di raggio minimo - diagramma di manovra e margine di manovra - diagramma di raffica.

Motoelica: salita – crociera – virata – confronto delle prestazioni tra motoelica e turbopjet.

Decollo ed atterraggio: analisi del decollo – decollo con motore in avaria, decollo abortito, velocità di decisione e lunghezza di pista bilanciata – analisi dell'atterraggio.

Equilibrio e stabilità statica longitudinale: determinazione del punto neutro – variazione della deflessione di equilibratore con la velocità – determinazione sperimentale della posizione del punto neutro da prove di volo.

Equilibrio e stabilità statica laterale e direzionale: angoli di controllo con vento laterale – angoli di controllo in virata corretta – calcolo della velocità di minimo controllo (turbopjet e motoelica).

Elementi di stabilità dinamica: modelli semplificati del modo fugoide (Lanchester e modello ridotto) – modelli semplificati dei modi di corto periodo, spirale, rollio e dutch-roll.

Dinamica del velivolo completo: esercitazione numerica.

## **Bibliografia**

- C. Casarosa, "Appunti del Corso di Meccanica del Volo", Università di Pisa, Centro Stampa.
- B. W. McCormick, "Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics", John Wiley & Sons, 1995.
- B. Etkin, "Dynamics of Atmospheric Flight-Stability and Control", John Wiley & Sons, 1982.
- R. C. Nelson, "Flight Stability and Automatic Control", McGraw-Hill, 1989.

## **Esame**

L'esame è costituito da una prova scritta e da una prova orale da sostenersi alla fine del semestre.

Nella prova scritta il candidato dovrà rispondere a domande relative agli argomenti delle lezioni e dovrà svolgere alcuni esercizi.

Sono ammessi alla prova orale gli studenti che hanno superato lo scritto con la votazione minima di 15/30.

## B3310 MECCANICA DEL VOLO DELL'ELICOTTERO

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Salvatore D'ANGELO

---

PROGRAMMA NON PERVENUTO.

## **B3830    MOTORI PER AEROMOBILI**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Giuseppe BUSSI</b>

---

### ***Presentazione del corso***

Il corso descrive i turbomotori (turboalberi e turboeliche) e i principali propulsori a getto (turboreattori a semplice e a doppio flusso, autoreattori) di impiego aeronautico, e ne studia il funzionamento, per evidenziare da un lato l'incidenza dei principali parametri termofluidodinamici sulle prestazioni, in termini di potenza o spinta e consumi, dall'altro il comportamento della macchina al variare delle condizioni di impiego e in risposta ai comandi di regolazione.

### ***Prerequisiti***

Nozioni di base di Termodinamica, di Fluidodinamica e di Macchine Termiche

### ***Programma***

La spinta e il suo costo. Spinta standard, spinta interna, resistenza addizionale e suo recupero sulla carenatura. Rendimenti propulsivo e termopropulsivo. Impulsi e consumi specifici. (circa 8 ore). Studio dei cicli a gas per turbomacchine. Influenza delle principali variabili termodinamiche sul lavoro utile e sul rendimento; diverse pratiche termodinamiche di interesse nella propulsione aeronautica. (circa 12 ore). Problemi di termo-fluidodinamica di interesse propulsivo.

Calcolo della temperatura di combustione adiabatica. Riflessi fluidodinamici del riscaldamento di correnti di gas, con particolare attenzione al caso subsonico. (circa 6 ore). Studio delle prestazioni dei turbomotori e dei propulsori, in sede di progetto. Confronto turboreattore semplice-turboreattore a by-pass, con flussi miscelati o a doppio flusso. Ottimizzazione della espansione nel caso della Turboelica e del Doppioflusso. (circa 10 ore). Modo di operare dei diversi componenti dei turbomotori e dei propulsori atmosferici e illustrazione delle loro mappe manometriche. (circa 4 ore).

P reparazione allo studio del comportamento fuori progetto delle turbomacchine: grandezze adimensionate o corrette; relazioni di congruenza e individuazione dei parametri di regolazione interna. (circa 4 ore). Comportamento in regolazione dei turbomotori e dei turboreattori.

Influenza della organizzazione meccanica (disposizione monoalbero o bi(pluri)albero). Studio delle prestazioni dei turbomotori e dei turbopropulsori, in sede di esercizio (in regolazione).

Metodi per l'aumento temporaneo delle prestazioni. Postcombustione. (circa 12 ore).

Descrizione e analisi del comportamento delle prese d'aria (con particolare riguardo alle applicazioni in supersonico), dei combustori (per turbomacchine, postcombustori, per autoreattori), degli ugelli propulsivi. (circa 12 ore). Problemi di accoppiamento presa d'aria-propulsore: caso del turboreattore e dell'autoreattore. Prestazioni dell'autoreattore in regolazione. (circa 4 ore).

## Laboratori e/o esercitazioni

Le esercitazioni, di carattere numerico, sono finalizzate al calcolo delle prestazioni in condizioni di progetto.

È prevista l'esibizione in laboratorio del funzionamento di alcune macchine di tipo didattico.

## Bibliografia

Appunti a cura del Docente.

Hill-Peterson, Mechanics and Thermodynamics of Propulsion, Addison-Wesley.

Rolls-Royce, The Jet Engine, Rolls-Royce plc, Derby.

## Esame

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale, vertente sugli argomenti trattati nelle lezioni e sulla discussione delle esercitazioni svolte, conclude il corso.

## **B3960 PRINCIPI DI AEROELASTICITÀ**

Periodo: 1

Crediti: 10

Precedenze obbligatorie:

Docente: **Gianfranco CHIOCCHIA**

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di fornire agli studenti i mezzi necessari a comprendere le basi fisiche dei principali fenomeni di interesse aeronautico nei quali l'interazione tra forze elastiche, aerodinamiche ed eventualmente inerziali è l'elemento caratterizzante. Di tali fenomeni esso insegna inoltre a intraprendere la modellizzazione matematica ai fini delle predizioni numeriche. Il corso è suddiviso in due moduli: il primo, fondamentale, descrive i fenomeni aeroelastici assumendo note le necessarie relazioni aerodinamiche sia nel caso stazionario (aeroelasticità statica) che instazionario (aeroelasticità dinamica e flutter in particolare). Il secondo, complementare, integra la formazione aerodinamica di base con una trattazione sistematica dei campi di moto non stazionario di fluido ideale intorno a corpi sottili, introduce alcuni approfondimenti ai contenuti del primo modulo e descrive alcuni fenomeni aeroelastici

### **Prerequisiti**

Aerodinamica - Scienza delle Costruzioni - Meccanica Applicata - Costruzioni Aeronautiche.

### **Programma**

Definizione e classificazione dei fenomeni aeroelastici. Diagrammi funzionali ed operatori aeroelastici. Galloping e vibrazioni indotte da vortex-shedding (4 ore).

Richiami di elastomeccanica delle strutture aeronautiche, in particolare alle equazioni differenziali ed integrali per strutture unidimensionali a sbalzo soggette a carichi sia statici che dinamici. Cenni sui sistemi bidimensionali e spaziali (8 ore).

Principali metodi di soluzione delle equazioni dell'aeroelasticità: collocazione diretta, collocazione a mezzo funzioni di forma, metodi di Galerkin e di Rayleigh-Ritz (4 ore).

Problemi aeroelastici statici piani: divergenza e inversione d'effetto delle superfici di comando per una sezione alare e per il tronco di coda. Problemi spaziali: divergenza, distribuzione di portanza sulla struttura deformata e velocità d'inversione d'effetto dei comandi per ali ad allungamento finito sia diritte che a freccia. Divergenza flessionale in missili e fusoliere (18 ore).

Problemi aeroelastici dinamici, in particolare flutter: interpretazione energetica per una sezione alare. Metodo U-g. Effetto dei vari parametri strutturali sulla velocità critica di flutter. Calcolo del flutter in ali ad allungamento finito (12 ore).

Equazioni generali del moto non stazionario di un fluido ideale. Linearizzazione nel caso di moto irrotazionale. Potenziale delle velocità e potenziale delle accelerazioni (6 ore).

Campi di moto incompressibili piani. Forze apparenti nei moti accelerati. Rilascio di vorticità dietro un corpo accelerato entro un fluido. Moti indiciali e problema di Wagner: studio delle forze su una lamina piana con incidenza improvvisamente accelerata (6 ore).

Profili alari sottili in moto non stazionario. Caso del moto armonico: frequenza ridotta, soluzione con funzione di Theodorsen, importanza ai fini della stabilità aeroelastica del segno della parte immaginaria dell'ampiezza complessa delle forze aerodinamiche (6 ore).

Campi di moto incompressibili tridimensionali: ali sottili e corpi allungati vibranti in corrente uniforme (2 ore).

Campi di moto compressibili linearizzati subsonici e supersonici: soluzioni fondamentali all'equazione convettiva delle onde e loro composizione in campi complessi intorno a profili ed ali (6 ore).

Approfondimenti di aeroelasticità: trattazione analitica di problemi sia statici che dinamici e comportamento generale delle soluzioni.

Flutter dei pannelli. Flutter di stallo, buffeting transonico sulle ali e buffeting dei piani di coda. Cenni sul buzz e sul whirl-flutter dei rotori a sbalzo (10 ore).

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Le esercitazioni comprendono il calcolo della velocità di divergenza per un modello in scala ridotta di struttura alare dal quale vengono dedotte (tramite misure dirette e calcoli) le proprietà strutturali ed aerodinamiche necessarie. Esse comprendono anche la visione ed il commento di numerosi filmati di fenomeni aeroelastici e la verifica in galleria del vento del comportamento aeroelastico del modello.

Le esercitazioni di questo modulo sono in quantità ridotta e prevedono la visione di filmati su fenomeni aerodinamici non stazionari, nonché qualche semplice calcolo mirato alla stima di ordini di grandezza caratteristici.

### **Bibliografia**

G. CHIOCCHIA, Principi di Aeroelasticità, Levrotto e Bella, Torino, 1990.

R.L. BISLINGHOFF, H.ASHLEY, Principles of Aeroelasticity, Dover Publ., New York, 1962.

G. CHIOCCHIA, Lezioni di Aerodinamica Instazionaria, dispense da fotocopiare distribuite dal docente.

### **Esame**

Colloquio orale

## **B4190    PROGETTAZIONE DI STRUTTURE AEROSPAZIALI**

Periodo: 2

Crediti: 10

Precedenze obbligatorie:

Docente: Ugo ICARDI

---

### ***Presentazione del corso***

Si tratta di un corso specialistico di analisi strutturale dedicato allo studio delle problematiche, delle metodologie e degli strumenti computazionali utilizzati dalle industrie aerospaziali nel progetto strutturale.

Vengono discusse le peculiarità del comportamento delle strutture aerospaziali e dei carichi che le sollecitano, formulati i modelli comportamentali più idonei e discussi dettagliatamente i modelli computazionali utilizzati per ottenerne la soluzione ingegneristica. Particolare enfasi viene data al metodo degli elementi finiti, che costituisce lo strumento numerico principale in ambito industriale. Vengono discussi gli aspetti salienti (libreria di elementi e procedure numeriche implementate, ecc.) dei codici commerciali agli elementi finiti maggiormente diffusi e comparate le loro prestazioni (spettro d'uso, accuratezza, costi di elaborazione, ecc). L'obiettivo è quello di formare negli allievi la capacità di sviluppare un elemento di volute caratteristiche, o di analizzare criticamente le potenzialità di un elemento già implementato. Viene inoltre sviluppata la capacità di formulare e risolvere modelli analitici, in particolare per strutture in materiale composito, e di stabilire le caratteristiche che debbono possedere i corrispondenti elementi finiti. Una parte consistente del corso è dedicata alla previsione numerica del comportamento alla stabilità delle strutture aerospaziali mediante elementi finiti, al fine di maturare la capacità di condurre un'analisi di stabilità in ambito industriale e di interpretarne i risultati.

Il corso consta di lezioni teoriche, di esercitazioni in aula, in cui vengono applicate a casi pratici le metodologie sviluppate e di esercitazioni presso il laboratorio informatico del DIASP, durante le quali gli allievi apprendono l'uso di codici agli elementi finiti in uso presso l'industria e applicano tali codici per la soluzione e di tipici problemi di analisi strutturale.

### ***Prerequisiti***

Sono richieste nozioni matematiche di base e nozioni fornite in precedenti corsi dell'indirizzo strutture, così come previsto dal manifesto degli studi. Tali nozioni vengono comunque richiamate di volta in volta durante lezioni ed esercitazioni.

### ***Programma***

Architettura degli elementi strutturali e loro funzioni; problematiche peculiari del loro comportamento; pertinenze e obiettivi dell'analisi strutturale. Modellizzazione dei problemi strutturali e loro analisi; problemi di risposta, di stabilità e dinamici. Il metodo dei residui pesati per la ricerca di soluzione analitiche e sue particolarizzazioni. Richiami di analisi variazionale e metodo di Rayleigh-Ritz. Condizioni di equivalenza dei metodi di Rayleigh-Ritz e di Galerkin.

Modellizzazione di piastre e gusci anisotropi multistrato. Effetti della deformabilità al taglio trasversale sulla risposta e sullo stato tensionale. Disamina di vari modelli; campi di applicazione e prestazioni ottenibili. Applicazioni a vari problemi di risposta,



di stabilità, buckling e postbuckling di strutture multistrato. Soluzione mediante elementi finiti. Approcci agli spostamenti, alle forze e misti. Approfondimento dell'approccio agli spostamenti: scelta delle grandezze nodali e delle funzioni di forma, sviluppo delle matrici di rigidezza, di rigidezza geometrica e di rigidezza tangente, delle masse e vettore dei carichi nodali equivalenti. Procedure di assemblaggio. Mapping. Integrazione numerica. Fenomeni di locking. Classificazione dei tipi di comportamento alla stabilità: punti di biforcazione e punti limite. Problematiche computazionali della stabilità e relative procedure implementate nei codici agli elementi finiti. Aspetti salienti delle metodologie path-followers ed esame critico di tali metodologie. Studio di alcuni tipi di parametrizzazione adattiva. Stepsize control. Esame critico delle metodologie in uso nei più diffusi codici commerciali multi-purpose e in codici specifici per l'analisi di stabilità.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Le esercitazioni sono svolte completamente in aula o presso il laboratorio informatico del DIASP sotto la guida del docente, pertanto non è richiesto agli allievi il completamento delle stesse al di fuori degli orari del corso.

Durante le esercitazioni in aula vengono risolti, manualmente e mediante programmi di calcolo forniti, una serie di problemi test in cui vengono applicati i concetti e le metodologie visti durante le lezioni. Esse riguardano, nel dettaglio, la soluzione approssimata di problemi tipici dell'analisi strutturale mediante il metodo di Galerkin generalizzato. La formulazione delle equazioni del moto di piastre multistrato modellizzate mediante il modello RHSDT. La formulazione di un elemento finito quadrilatero a 4 nodi basato sul modello RHSDT. L'impiego di tale elemento all'analisi della freccia sotto carico, del carico critico biforcuto e delle frequenze proprie di una piastra composita multistrato.

Durante le esercitazioni presso il laboratorio informatico del DIASP gli studenti apprendono l'uso di Patran e Nastran e Stags. Essi vengono introdotti progressivamente alla programmazione in tali ambienti e nel seguito all'uso di tali codici per la soluzione dei problemi già studiati per via analitica. Dal confronto tra le soluzioni analitiche e quelle agli elementi finiti è valutata l'influenza della formulazione degli elementi sul grado di accuratezza e le peculiarità della soluzione a elementi finiti.

### **Bibliografia**

Il testo di riferimento è costituito da appunti forniti dal docente; testi ausiliari di utile consultazione sono: Seydel R. "From equilibrium to chaos: practical bifurcation and stability analysis", Elsevier Science, 1988 e Zienkiewicz O. M., Taylor R. L. "The finite element method-fourth edition", McGraw-Hill, 1994.

### **Esame**

L'esame consta di un colloquio con gli allievi, nel quale vengono valutate la capacità critica maturata e le nozioni acquisite, nell'ambito delle tematiche proposte.

## **B4260    PROGETTO DEI SISTEMI AEROSPAZIALI**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Ettore ANTONA</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso intende specializzare alle realizzazioni in campo spaziale i concetti relativi al progetto.

Quale indicazione di massima il corso riguarda dai veicoli transatmosferici (che pure hanno ampie problematiche comuni agli aeromobili) alle missioni spaziali di vario genere, nell'ambito del sistema solare.

Le esercitazioni saranno in parte dedicate a presentare esempi applicativi a livello industriale di problemi discussi nelle lezioni ed in parte a: 1) approfondire particolarità applicative dei materiali di analisi di sicurezza, affidabilità e manutenibilità e 2) presentare e discutere dati sull'ambiente spaziale.

### **Programma**

Introduzione al corso (lezioni 4h) (I)

Sistemi spaziali. Approccio sistemistico.

Ambiente spaziale (esercitazioni 2h) (A)

L'ambiente dovuto al lanciatore. Lo spazio come ambiente. Effetti sui materiali.

Impatto con meteoriti. Impatto con detriti spaziali.

Meccanica celeste (lezioni 18h) (II)

Concetti generali. Problema dei tre corpi. Problema dei tre corpi. Traiettorie e orbite.

Aiuti gravitazionali.

Problema dei due corpi perturbati. Potenziale gravitazionale della terra. Resistenza aerodinamica. Campi gravitazionali addizionali. Orbite interplanetarie.

Analisi di missione (lezioni 8h, esercitazioni 2h) (III)

L'analisi di missione come strumento di progetto. Stabilizzazione di orbite geostazionarie. Stabilizzazione di orbite basse. Eclissi dei satelliti.

Veicoli di lancio (lezioni 8h) (IV)

Meccanica di lancio. Requisiti di missione. Fasi del lancio e pianificazione della missione.

Controllo d'assetto (lezioni 8h, esercitazioni 2h) (V)

Sistemi di controllo d'assetto. Dinamica dell'assetto del veicolo. Determinazione dell'assetto e accessori. Logiche di controllo. Fabbisogni per il controllo.

Sistemi di propulsione (lezioni 2h, esercitazioni 2h) (VI)

Considerazioni generali. Vele solari.

Progetto strutturale (lezioni 14h, esercitazioni 14h) (VII)

Dinamica del sistema strutturale. Carichi sulle strutture. Criteri di progetto strutturale.

Rientro in atmosfera (lezioni 10h) (VIII)

Meccanica del rientro in atmosfera. Rientro balistico. Rientro planato. Rientri alternativi. Sistemi di protezione termica. Corridoio di rientro.

Meccanismi spaziali (lezioni 6h) (IX)

Considerazioni generali. Satellite a filo. Dinamica del satellite. Manovre.

Controllo termico (lezioni 4h, esercitazioni 2h) (X)  
Proprietà dei materiali. Trasmissione del calore. Bilancio termico. Sistemi di controllo termico. Progetto del controllo termico.

Sicurezza, affidabilità, manutenibilità (esercitazioni 4h) (B)

Dati sui componenti. Valutazioni delle probabilità dei sistemi.

## Bibliografia

Testi di riferimento: dispense indicate ed appunti forniti dal docente

Testi per approfondimento: V.M. Blanco, S.W. McCuskey, Basic Physics of the Solar System, Addison Wesley, Reading (Mass.), 1961

## Esame

L'esame consiste in una prova orale.

## **B4280    PROGETTO DI AEROMOBILI**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Ettore ANTONA</b>

---

### ***Presentazione del corso***

Il corso si propone di presentare in una visione unitaria le problematiche della progettazione degli aeromobili, per quanto riguarda in particolare gli aspetti aerodinamici, strutturali, aeroelastici e meccanici, esaminate anche nel loro divenire nel progresso tecnico. Si forniscono nozioni fondamentali sui fenomeni fisici strutturali o connessi con la realizzazione degli aeromobili, sui fondamenti scientifici dei metodi impiegati nelle varie fasi del progetto. Si analizzano i concetti ispiratori delle norme e dei regolamenti nel contesto della evoluzione del pensiero sul progetto degli aeromobili.

Il corso, per sua natura, introduce una visione organica di un'attività che, nell'industria, nei laboratori e negli enti di ricerca e di controllo, occupa migliaia di specialisti. I concetti che sono alla base di tutte queste attività fanno parte della forma mentis che è lo scopo della materia.

V'è, tra le fasi del progetto, l'avanprogetto, che nella pratica è condotto da un numero ristretto di persone: esso si basa su nozioni ed informazioni molto specializzate e viene assunto come "esercitazione annuale". Nel corpo delle esercitazioni sono poi inserite applicazioni di "calcolo strutturale".

### ***Prerequisiti***

Nozioni propedeutiche di Analisi matematica, Meccanica razionale ed applicata, Scienza delle costruzioni, Costruzioni aeronautiche, A e rodinamica, Gasdinamica, Meccanica del volo, Tecnologia delle costruzioni aeronautiche.

### ***Programma***

IL PROBLEMA DEL PROGETTO (8h)

Natura probabilistica degli aspetti centrali del progetto.

Sicurezza, affidabilità e altri concetti collegati.

Evoluzione del pensiero sugli aspetti sistemistici del progetto.

Sicurezza, durata e affidabilità delle strutture aerospaziali.

Strategie per la sicurezza.

Progetto e sua pianificazione.

Dati sui componenti.

Valutazione complessiva delle probabilità.

Logiche decisionali per la sicurezza e altri requisiti.

Metodologie automatiche per i sistemi.

PROGETTO FONDATO SULLA ANALISI DEL RISCHIO (facoltativo)

Il progetto come processo decisionale ordinato.

Decisione e rischio.

Modelli funzionali e probabilità associate.

L'albero delle decisioni.

## SIMULAZIONE E SIMILITUDINE FISICA NEL PROGETTO AEROSPAZIALE (2h)

Analogie e simulazione.

Similitudine fisica.

Similitudine strutturale.

Similitudine dinamica.

Applicazioni.

Modelli per prove di sgancio in volo.

## CONDIZIONAMENTI AMBIENTALI (6h)

Considerazioni generali sui materiali.

Comportamento a fatica.

Elementi di meccanica della frattura.

Materiali per alte temperature.

Effetti della corrosione e del "fretting".

## NOZIONI DI CALCOLO DELLE PROBABILITA' E TEORIA STATISTICA (6h)

Introduzione.

Definizioni di probabilità.

Assiomatizzazione della teoria.

Cambiamenti di variabile aleatoria.

Funzioni generatrici dei momenti.

Funzioni caratteristiche.

Principali Distribuzioni di probabilità.

## FONDAMENTI DELLA RISPOSTA DINAMICA DEI SISTEMI (6h)

Serie di Fourier e sua generalizzazione.

Elementi di teoria delle funzioni analitiche.

Trasformata di Laplace.

Variabili "random" nel dominio delle frequenze.

Autocorrelazione.

Processi casuali gaussiani stazionari.

Risposta dinamica.

Teoria dell'informazione e meccanica statistica.

## STABILITA' DEI SISTEMI (4h)

Introduzione.

Stabilità secondo Liapunoff.

Critica delle analisi di stabilità e dei concetti collegati.

Analisi della stabilità dei sistemi lineari.

Stabilità dei sistemi conservativi.

## PROBLEMI DI STABILITA' DELLE STRUTTURE (4h)

Considerazioni generali.

Problemi nei quali si richiede una analisi dinamica.

Termini non lineari.

Stabilità dei sistemi conservativi.

Cedimento delle strutture.

## IL PROBLEMA DEL PROGETTO IN AERONAUTICA (2h)

Progetto come ottimizzazione.

Indici di bontà - Indici di carico.

Fasi del progetto.

Previsione di massima del peso. Fattori di ingrandimento.

Strumenti e metodi.

Le prove nelle varie fasi del progetto.

L'ambiente.

Introduzione alle finalità del modulo.

## GLI AEROMOBILI (4h)

Collocazione fra gli altri veicoli.

Principi di funzionamento e di azionamento.

Classificazione.

Teoria impulsiva.

Elementi descrittivi.

## SICUREZZA, AFFIDABILITA', MANUTENIBILITA' DEGLI AEROMOBILI (4h)

Introduzione.

Sicurezza in caso di formazione di ghiaccio

Sicurezza nel wind-shear.

Turbolenza atmosferica e carichi di raffica.

## PROGETTO AERODINAMICO (2h) (facoltativo)

Campi e modelli matematici.

Sostentazione aerodinamica dei profili alari.

Caratteristiche aerodinamiche dei profili alari.

Aerodinamica delle superfici portanti.

Effetti della comprimibilità.

Strato limite.

Aerodinamica interna.

Moderne tendenze del progetto aerodinamico.

## PRESTAZIONI, CONTROLLABILITA', MANOVRABILITA' E STABILITA' (facoltativo)

Definizioni e discussione dei requisiti.

Sistemi di riferimento.

Lunghezze, superfici, e volumi di riferimento.

Prestazioni.

Caratteristiche di volo.

## PROGETTO STRUTTURALE (4H)

Evoluzione della morfologia delle strutture

Tipologia dei componenti strutturali.

Funzioni della struttura.

Funzioni dei componenti strutturali.

Sintesi del progetto strutturale.

Corretta introduzione delle forze.

Fenomeni di concentrazione delle sollecitazioni e delle tensioni.

Effetti delle interazioni sforzi -forma geometrica.

## DETERMINAZIONE DEI CARICHI (8h)

La turbolenza atmosferica e i carichi di raffica.

Cenni sulla storia dello studio della turbolenza

La raffica discreta.

La raffica continua.

Criterio di analisi della missione.

Criterio dell'involuppo.

Criterio combinato.

Confronto fra i due metodi.

Combinazione dei carichi e condizioni di progetto.

Altri tipi di carico introdotti nello spettro.

Carichi dovuti a cicli G.A.G.

Carichi da manovra.

Spettri di carico e storia delle tensioni.

Introduzione.

Cenni sulle tecniche e i problemi di campionamento

Ottenimento degli spettri di carico  
Generazione dello spettro a blocchi  
Spettri di carico standard per le prove di laboratorio.  
ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI (facoltativo)  
Teorie elementari.  
Stati correttivi.  
Metodi di analisi delle strutture.  
DETERMINAZIONE DEGLI AMMISSIBILI (4h)  
Considerazioni generali.  
Accrescimento delle cricche.  
Sollecitazioni ammissibili senza cricche.  
Sollecitazioni ammissibili per resistenza residua.  
Sollecitazioni ammissibili per instabilità strutturale.  
PROBLEMI AEROELASTICI (4h)  
Considerazioni generali.  
Divergenza.  
Inversione dei comandi.  
Flutter.  
Prove in similitudine in aeroelasticità.  
Sicurezza nei problemi aeroelastici.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Esercitazioni sulla normativa (6h)  
- Esame della Normativa vigente.  
Esercitazioni strutturali (6h)  
- Problemi di stabilità  
Esercitazioni di avamprogetto (6h)  
- Articolazione e fasi del progetto aeronautico.  
- Previsione del peso massimo al decollo e del peso a vuoto.  
- Progetto preliminare della configurazione.  
- Integrazione del sistema propulsivo.  
- Requisiti di distanza di decollo e di atterraggio.  
- Requisito di velocità massima o di crociera.  
- Requisiti di salita.  
Esercitazioni di calcolo strutturale (12h)  
- Esempi d'uso del "principio dei lavori virtuali".  
- Calcolo di elementi strutturali semplici attraverso teorie elementari: modelli trave e ipotesi del guscio rinforzato.  
- Stati di sollecitazione e di deformazione di strutture alari nelle ipotesi del semiguscio.  
- Svergolamento di cassoni alari.  
- Pannellature in presenza di aperture.  
- Uso di stati correttivi. - Problemi di stabilità.

### **Bibliografia**

Testi di riferimento:  
Dispense indicate ed appunti forniti dal docente  
Testi per approfondimenti:  
B. Etkin, Dynamics of Flight, Wiley, London.

- Abbott, von Doenhoff, Theory of Wing Sections, Dover, NY1959.  
 D. Kuchemann, The Aerodynamic Design of Aircrafts, Pergamon, 1978.  
 J. Roskam, Airplane Design, Vol. I-VIII, Univ. Kansas, Lawrence.  
 D. Broek, The Practical Use of Fracture Mechanics, Kluwer, Boston, 1988.  
 F.M. Hoblit, Gust Loads on Aircrafts: Concepts and Applications, AIAA, Washington, 1988.  
 R. Rivello, Theory and Analysis of Flight Structures, McGraw-Hill, NY, 1969.

**Esame**

L'esame consiste in una prova orale.



## **B4380    PROPULSIONE AEROSPAZIALE**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Guido COLASURDO</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si articola in tre moduli. Il primo modulo fornisce le nozioni di Meccanica del Volo Spaziale necessarie a definire i requisiti propulsivi per lo svolgimento di una missione spaziale; in particolare, si descrivono le caratteristiche delle orbite di più frequente impiego per i satelliti terrestri e le usuali manovre orbitali; le traiettorie Terra-Luna e le missioni interplanetarie sono studiate con la tecnica delle patched conic. Nel secondo modulo le traiettorie di ascesa in orbita sono descritte e messe in relazione alla prestazioni dei vettori convenzionali. Nel terzo modulo si evidenziano i limiti pratici della propulsione a razzo convenzionale e si descrivono le soluzioni praticabili per il superamento di detti limiti; in particolare, si illustrano i fondamenti della propulsione elettrica, i propulsori elettrici di possibile impiego, le traiettorie dei velivoli transatmosferici e le prestazioni dei propulsori multiciclo per il volo ipersonico e transatmosferico.

### **Prerequisiti**

Nozioni di base di Matematica e Meccanica.

### **Programma**

Leggi di Keplero; legge della gravitazione universale. Il problema dei due corpi: costanti del moto; traiettoria; tempo di volo. Proprietà geometriche delle coniche. (6 ore)

Sistemi cartesiani basati sul piano equatoriale e sul piano della traiettoria; trasformazione di coordinate; parametri orbitali classici. Traccia di un satellite sulla superficie terrestre; visibilità di un satellite dalla superficie terrestre. (6 ore)

Satelliti terrestri: orbite circolari ed ellittiche; perturbazioni delle traiettorie kepleriane; orbite particolari (geostazionarie, eliosincrone, Molniya); tether; costellazioni di satelliti. Manovre orbitali nel piano e semplici cambiamenti di piano. (8 ore)

Il problema dei tre corpi: librazioni di Lagrange; sfera di influenza di un astro; approssimazione delle "patched conics".

Missioni lunari. (4 ore)

Il sistema solare; traiettorie eliocentriche di trasferimento; periodo sinodico. Traiettoria di allontanamento dalla terra; finestra di lancio. Traiettoria di avvicinamento ai pianeti; cattura; "gravity assist". (6 ore)

Prestazioni di razzi e veicoli spaziali; definizione di spinta e resistenza. Equazione del moto di un razzo; variabili di stato e di controllo; vincoli sulla traiettoria. Equazione di Tsiolkovsky; perdite gravitazionali, per disallineamento della spinta e per resistenza atmosferica. Prestazioni del razzo monostadio; razzo polistadio. Traiettoria di un razzo per l'iniezione in orbita con propulsione continua e con fase balistica intermedia. (8 ore)

Prestazioni degli endoreattori chimici a propellenti solidi, liquidi e ibridi. Sistemi con tre propellenti liquidi o due propellenti e dosatura variabile. (6 ore)

Sistemi propulsivi con generazione di potenza elettrica: impulso specifico ottimale.

Propulsori elettrotermici, elettrostatici ed elettromagnetici. Cenni sulla propulsione nucleare. (6 ore)

Propulsori avanzati per il volo ipersonico transatmosferico. Caratteristiche dell'atmosfera; corridoio di volo. Carico utile per il volo ipersonico di crociera e per l'inserzione in orbita mediante velivolo transatmosferico. Autoreattore; autoreattore con combustione supersonica.

Propulsori multiciclo. Integrazione del propulsore nel velivolo: presa; ugello. (10 ore)

### **Laboratori e/o esercitazioni**

In ciascuna esercitazione viene, di massima, affrontato un problema diverso di meccanica del volo spaziale, curandone particolarmente gli aspetti numerici. Tra i temi: traccia di un satellite sulla superficie terrestre; progetto di una costellazione di satelliti; trasferimento in orbita geostazionaria; missione Terra-Luna; missione su Marte.

Le esercitazioni in laboratorio saranno svolte presso il LAIB (Laboratorio Informatico di Base).

Gli allievi utilizzeranno programmi forniti dal docente per visualizzare orbite, tracce di satelliti sulla superficie terrestre e traiettorie per missioni lunari.

Valutazione numerica delle prestazioni di un sistema di lancio.

Valutazione numerica delle prestazioni di propulsori elettrici e nella determinazione del profilo di un ugello per velivolo transatmosferico.

### **Bibliografia**

R. B. Bate et al., *Fundamentals of Astrodynamics*, Dover, 1971.

F. J. Hale, *Introduction to Space Flight*, Prentice-Hall, 1994.

G. P. Sutton, *Rocket Propulsion Elements*, 6th ed., Wiley, 1992.

W. H. Heiser, D. T. Pratt, *Hypersonic Airbreathing Propulsion*, AIAA, 1994.

### **Esame**

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso.

## **B6110    PROPULSORI ASTRONAUTICI**

Periodo:

Crediti:                    10

Precedenze obbligatorie:

Docente:                    **Lorenzo CASALINO**

---

### ***Presentazione del corso***

Il corso illustra i principi della propulsione aerospaziale per impieghi avanzati, con particolare riferimento alla propulsione elettrica.

Vengono presentati i principali metodi per la generazione di spinta nello spazio mediante l'accelerazione elettrotermica, elettrostatica o elettromagnetica di un propellente e descritti i più importanti propulsori elettrici attualmente realizzati o in via di sviluppo.

### ***Prerequisiti***

Conoscenze di base nel campo della fisica e della propulsione aerospaziale.

### ***Programma***

Propulsione aerospaziale: spinta, impulso specifico, equazione del razzo, limiti all'impiego di propulsori chimici, impulso specifico ottimale di propulsori elettrici. Classificazione dei propulsori elettrici. Vele solari. Generatori di potenza. Richiami di elettromagnetismo: campi elettrici statici, corrente elettrica, campi magnetici, campi elettromagnetici dipendenti dal tempo, equazioni di Maxwell. Processi di ionizzazione di gas: gas monoatomici, equazione di Saha, gas biatomici, miscele di gas. Conducibilità elettrica: collisioni tra particelle atomiche, conducibilità in presenza ed assenza di urti, parametro di Hall.

Accelerazione elettrotermica dei gas: entalpia di un gas ad alta temperatura, perdite per flusso congelato. Particolarità costruttive di resistogetti. Scarica elettrica in mezzo gassoso: arco elettrico, fenomeni di instabilità e metodi di stabilizzazione, modelli di trasmissione del calore. Propellenti e particolarità costruttive di arcogetti. Accelerazione elettrostatica: legge di Child. Produzione di ioni per contatto e bombardamento elettronico. Accelerazione di ioni. Griglie acceleratrici. Neutralizzazione del fascio di ioni. Prestazioni e particolarità costruttive di propulsori a ioni. Propulsori FEED. Equazioni della magnetogasdinamica stazionaria: flusso unidimensionale e fenomeni di choking, limitazioni pratiche ed effetti della geometria dei campi EM. Flussi a bassa densità e conducibilità tensoriale: propulsori a effetto Hall. Campi magnetici autoindotti. Ionizzazione. Propulsori magnetoplasmadinamici: modello magnetogasdinamico e altri modelli descrittivi, caratteristiche costruttive. Propulsori non stazionari a funzionamento pulsante: descrizione, caratteristica elettrica, modelli di accelerazione, efficienza. Prestazioni e descrizione di propulsori PPT (Pulsed Plasma Thrusters).

### ***Laboratori e/o esercitazioni***

Studio di missioni LEO-GEO e interplanetarie con propulsione elettrica.

Esercitazioni di carattere numerico per la scelta del sistema propulsivo per diverse classi di missioni spaziali.

Esercitazioni di carattere numerico per il calcolo di prestazioni di propulsori elettrotermici.

Esercitazioni di carattere numerico per il calcolo di prestazioni di propulsori a ioni.

Esercitazioni di carattere numerico per il calcolo di prestazioni di propulsori elettromagnetici.

## **Bibliografia**

G.P. Sutton, "Rocket Propulsion Elements", VI ed., John Wiley & Sons Inc., New York, 1992.

R.G. Jahn, "Physics of Electric Propulsion", McGraw-Hill, New York, 1968.

Materiale fornito dal docente

## **Esame**

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso. L'esame verterà sui contenuti del corso seguito dall'allievo; una relazione sulle esercitazioni svolte dovrà essere presentata e discussa in sede d'esame.

## **B4600 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Silvio VALENTE</b>

---

### **Presentazione del corso**

Il corso introduce la meccanica dei solidi elastici lineari con le equazioni di equilibrio, di congruenza e costitutive. Tali relazioni vengono dedotte nel caso dei solidi tridimensionali (corpi tozzi) e unidimensionali (travi) e quindi unificate in una formulazione del tutto generale, utile soprattutto per le applicazioni numeriche. Viene trattata poi la teoria dei sistemi di travi (solidi di Saint Venant), sotto il duplice aspetto statico e cinematico. Vengono infine illustrati i fenomeni di instabilità dell'equilibrio elastico e di propagazione della frattura fragile.

### **Prerequisiti**

È opportuna una buona conoscenza degli argomenti di Analisi I e II, Geometria, Fisica I e Meccanica Razionale.

### **Programma**

(2 ore) Introduzione al corso: classificazione degli elementi strutturali, modello geometrico della struttura, modello delle sollecitazioni, modello del comportamento del materiale, modelli numerici.

(4 ore) Analisi della deformazione: tensore delle deformazioni; dilatazioni e scorrimenti; proiezioni del vettore spostamento; legge di trasformazione del tensore delle deformazioni per rotazioni del sistema di riferimento; direzioni principali di deformazione; dilatazione volumetrica.

(4 ore) Analisi della tensione: vettore tensione; tensore degli sforzi; proiezioni del vettore tensione; legge di trasformazione del tensore degli sforzi per rotazioni del sistema di riferimento; direzioni principali di tensione; tensori idrostatico e deviatorico; cerchi di Mohr; stato tensionale piano.

(2 ore) Equazioni indefinite di equilibrio; equazioni di equivalenza al contorno; formulazione matriciale e dualità statico-cinematica; Principio dei Lavori Virtuali per il corpo deformabile.

(4 ore) Potenziale elastico; potenziale elastico complementare; legge costitutiva elastica: elasticità lineare; isotropia; modulo di Young e coefficiente di Poisson; problema elastico; equazioni di Lamé' in forma operatoriale; teorema di Clapeyron; teorema di Betti.

(4 ore) Criteri di sicurezza: diagrammi tensione-deformazione per materiali duttili e fragili; energia di frattura; criterio di Tresca; criterio di Mohr-Coulomb, criterio di von Mises.

(10 ore) Solido di Saint Venant: ipotesi fondamentali; sforzo normale; flessione retta; sforzo normale eccentrico; flessione deviata; nocciolo centrale di inerzia; ortogonalità energetica; torsione (sezioni circolari e generiche, sezioni sottili aperte e chiuse); centro di taglio, taglio retto (trattazione semplificata di Jourawsky, sezione rettangolare, scorrimento medio).

(3 ore) Solido di Saint Venant: sollecitazione di taglio nelle sezioni sottili, possibile non-ortogonalità energetica tra  $T_x$  e  $T_y$ , taglio deviato.

(2 ore) Verifiche di resistenza nel solido di Saint Venant. Teoria tecnica della trave: rapporto tra deformazione flettente e tagliante; equazioni cinematiche, statiche e costitutive per la trave (rettilinea e curva).

(4 ore) Il principio dei lavori virtuali applicato ai sistemi di travi: determinazione degli spostamenti nelle strutture isostatiche e risoluzione delle strutture iperstatiche. Il teorema di Castigliano, il teorema di Menabrea.

(5 ore) Calcolo automatico, con il metodo degli spostamenti dei telai piani. Cenni sulla applicazione di questo approccio alle strutture reticolati, piane e spaziali, ai grigliati ed ai telai spaziali.

(6 ore) Fenomeni di collasso strutturale: instabilità dell'equilibrio elastico (limiti di validità della formula di Eulero, trave rettilinea con varie condizioni di vincolo, instabilità locale e globale), meccanica della frattura (analisi energetica di Griffith).

### **Laboratori e/o esercitazioni**

(5 ore) Geometria delle aree: leggi di trasformazione del vettore dei momenti statici e del tensore dei momenti di inerzia per rototraslazioni del sistema di riferimento; direzioni e momenti principali d'inerzia; cerchi di Mohr; simmetria assiale e polare.

(8 ore) Cinematica dei sistemi di travi: gradi di libertà, vincolo di rigidità, linearizzazione del vincolo, vincoli piani, maldisposizione dei vincoli, atto di moto di un corpo rigido. Statica dei sistemi di travi: studio algebrico e studio grafico, teoremi delle catene cinematiche.

(4 ore) Dualità statico-cinematica, statica grafica, curva delle pressioni, caratteristiche interne della sollecitazione, equazioni indefinite di equilibrio per le travi curvilinee piane.

(10 ore) Sistemi di travi isostatici: determinazione delle reazioni vincolari con le equazioni ausiliarie e con il Principio dei Lavori Virtuali; archi a tre cerniere; travi Gerber; strutture chiuse; travature reticolari.

(1 ora) Esercizi sul tracciamento dei cerchi di Mohr.

(2 ore) Determinazione di spostamenti e rotazioni negli schemi elementari mediante integrazione dell'equazione della linea elastica; composizione di rotazioni e spostamenti.

(10 ore) Esercizi sul solido di Saint Venant.

(4 ore) Il principio dei lavori virtuali applicato ai sistemi di travi: distorsioni termiche e cedimenti vincolari, strutture reticolari iperstatiche, archi e anelli.

(4 ore) Sistemi di travi iperstatici: simmetria ed anti-simmetria assiale e polare.

(10 ore) La risoluzione di strutture iperstatiche con il metodo dei telai piani: il caso a nodi fissi, il caso a nodi spostabili, l'iperstaticità assiale.

(2 ore) Esercizi sull'instabilità dell'equilibrio elastico.

### **Bibliografia**

A. CARPINTERI, *Scienza delle Costruzioni*, Vol. I, Ed. Pitagora, Bologna, 1995.

Per consultazione:

O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna.

M. CAPURSO, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Ed. Pitagora, Bologna, 1971.

P. CICALA, *Scienza delle Costruzioni*, Vol. 1 e 2, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1981.

A. DI TOMMASO, *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Ed. Patron, Bologna, 1981.

F. LEVI, P. MARRO, *Scienza delle Costruzioni*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1986.

Per le esercitazioni saranno utili i seguenti volumi:

A. CARPINTERI, *La Geometria delle masse*, Ed. Pitagora, Bologna, 1983.

E. VIOLA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, Vol. 1 e 2, Ed. Pitagora, Bologna, 1985.

A. CARPINTERI, *Scienza delle Costruzioni*, Vol. II, Ed. Pitagora, Bologna, 1995.

## Esame

Al termine del secondo emisemestre, coloro che hanno superato la valutazione reattiva al modulo A sono ammessi alla valutazione scritta sui contenuti del modulo B, consistente nella analisi di una struttura iperstatica volta a determinare i diagrammi delle tre sollecitazioni (M,N,T) in tutte gli elementi (travi e/o bielle) componenti la struttura. A completamento dei diagrammi è richiesto il tracciamento della curva delle pressioni ed il tracciamento qualitativo della deformata elastica.

È inoltre prevista una seconda domanda riguardante la sezione di un solido di Saint Venant. Essa può riguardare uno stato tensionale indotto da una sollecitazione di Taglio Torsione, oppure da una sollecitazione di sforzo normale eccentrico. In questo secondo caso può anche essere richiesto il tracciamento della regione di nocciolo.

Coloro che hanno superato le valutazioni scritte relative ai moduli A e B possono completare l'esame sostenendo la prova orale nell'ambito della prima sessione. Per coloro che non hanno superato le valutazioni reattive ai moduli A e B (o che non hanno ritenuto di sfruttarne la possibilità) l'esame finale sarà costituito da una unica prova scritta sugli argomenti illustrati in precedenza a proposito delle due valutazioni di esonero. Quanto segue vale per tutte le prove scritte, siano esse di valutazione intermedia o di esame.

Per ciascun esercizio sono previsti due gruppi di domande. Per raggiungere la sufficienza è necessario rispondere correttamente almeno al primo gruppo di domande per ogni esercizio. Si suggerisce di attrezzarsi convenientemente per lo svolgimento della prova scritta (carta quadrettata, squadra, ecc.). Si segnala invece che non è permesso l'uso di testi ed appunti, ma solo l'uso dei formulari che verranno presentati ad esercitazione. Per essere ammessi all'orale è necessario ottenere, nella prova scritta, una votazione maggiore o uguale a 15/30. In ogni caso il voto finale è la media tra quello ottenuto nella prova orale e quello ottenuto nella prova scritta.

Quanto segue vale solo nel caso di esame unico finale. Per la prova scritta vengono concesse 3,5 ore, per le prime 2 ore non è possibile lasciare l'aula. È possibile ripetere la prova scritta rispettando le limitazioni stabilite dal Consiglio di Facoltà.

La prova orale può essere sostenuta nei giorni subito successivi alla prova scritta oppure nell'appello immediatamente successivo.

## **B5100    SPERIMENTAZIONE DI VOLO**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Giulio AVANZINI

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di indicare le problematiche principali della Sperimentazione di Volo e approfondire alcuni argomenti connessi con le prove di volo finalizzate ad ottenere indicazioni nel campo delle strutture e della meccanica e della dinamica del volo. Dopo una parte introduttiva in cui si presentano i metodi, nelle prove di volo, atti alle misure della velocità, della temperatura e dell'angolo di incidenza e si forniscono allo studente le nozioni fondamentali sulle caratteristiche, le problematiche, i possibili errori dei sistemi di misura e dei relativi circuiti di acquisizione, vengono affrontati i campi specifici di interesse nella sperimentazione di volo: le prestazioni di volo in parametri adimensionati, le prove strutturali e sui fenomeni vibratorii con particolare riferimento al flutter, le prove ad alta incidenza, i metodi classici per determinare quelle derivate aerodinamiche che intervengono nel moto longitudinale e latero-direzionale.

### **Prerequisiti**

È opportuno essere a conoscenza dei concetti fondamentali della Meccanica Applicata, dell'Aerodinamica, delle Costruzioni Aeronautiche e della Meccanica del Volo.

### **Programma**

*Generalità sulle prove di volo. [2 ore]*

La definizione del programma di prove volo. I sistemi velivolo. I compiti dell'F.T.I.; progettazione del sistema F.T.I.: requisiti fondamentali.

*Misura della velocità, della temperatura e dell'angolo di incidenza. [14 ore]*

L'atmosfera di riferimento; le quote; la riduzione all'atmosfera standard. Misura della velocità; flusso incompressibile e compressibile; il numero di Mach; operazione di rilievo e misura del numero di Mach. Velocità rispetto all'aria; velocità equivalente; velocità calibrata; velocità vera. Considerazioni sulla misura della velocità; errore di posizione; taratura del sistema anemometrico: nose boom System, wing boom System, low altitude speed course method, tower flyby method, pacer method, smoke-trail e contrast-trail method, radar altitude reference, trailing devices, trailing anemometer. Relazioni dell'errore di posizione; relazioni per la correzione della velocità e della quota. Taratura della sonda di temperatura, determinazione del coefficiente di restituzione del termometro; descrizione ed errori di un trasduttore di TAT.

*Misura dell'angolo di incidenza e di imbardata e taratura del sistema. Sistemi di misura. [18 ore]*

Generalità sui sistemi di misura del 1° e del 2° ordine. Sistemi del 1° ordine; funzionamento tipico; risposta ad una funzione di ingresso di forma armonica. Sistemi del 2° ordine; moto libero; regime forzato permanente con eccitazione sinusoidale; fase iniziale di un moto eccitato sinusoidalmente. Risposta dell'accelerometro nella misura di una accelerazione a gradino; osservazioni sull'influenza dello smorzamento sulle caratteristiche del regime transitorio; caratteristiche peculiari da considerare nella scelta dello strumento di misura; accelerometri a loop aperto e a loop chiuso. Progetto del sistema di strumentazione. Caratteristiche metro logiche del canale di misura; inter-



vallo di misura, risoluzione, precisione statica, precisione dinamica. Misura della temperatura; tipi di sensori; termometri a resistenza e termocoppie; applicazioni dei trasduttori di temperatura. Misura del flusso di carburante; flussometro a turbina, a orifizio variabile, a momento angolare. Il giroscopio d'assetto; il girometro. Misura di posizione lineare e angolare. Sensori di pressione; tipologia dei trasduttori e loro errori. Le tecniche di acquisizione; gli errori in fase di acquisizione; l'acquisizione di dati dai bus dei sistemi avionici. La registrazione magnetica. La telemetria. La traiettografia: problematiche ed utilizzo del sistema GPS.

*Determinazione del peso, della posizione del baricentro e dei momenti d'inerzia del velivolo. [6 ore]*

Pesatura del velivolo e determinazione della posizione del baricentro a terra nelle diverse configurazioni; metodo di sospensione ad un singolo punto. Determinazione di peso e posizione del baricentro in volo; C.G. diagram. Determinazione dei momenti d'inerzia; metodo delle oscillazioni elastiche su appoggio libero. Determinazione del momento centrifugo e della direzione degli assi principali d'inerzia con il metodo del single-point suspension double-pendulum.

*Prestazioni di volo in parametri adimensionali e generalizzati. [8 ore]*

Caratteristiche di un turbogetto; turbogetto isolato; turbogetto installato sul velivolo in volo. Prestazioni generalizzate di un velivolo; volo orizzontale; caratteristiche di salita. Autonomia oraria e chilometrica.

*Prove strutturali e di flutter. [16 ore]*

Rilevamento dei carichi in volo; tecniche di misura dei carichi in volo: estensimetri e pressore ploting. Finalità delle prove; strumentazione necessaria; taratura preventiva; condizioni di volo; elaborazione e presentazione dei dati; manovre in volo.

Taratura a terra e rilievo dei carichi. Prove strutturali dinamiche; finalità delle prove.

Meccanismo del flutter; calcoli e prove a terra; sperimentazione in volo. Procedure di prova. Strumentazione necessaria. Gli accelerometri per prove di flutter e rilievo di vibrazioni in volo. Tecniche di misura del flutter: decadimento del segnale; eccitazione pulsante; eccitazione armonica; eccitazione variabile in frequenza. Tecniche di eccitazione in volo: superfici di controllo; alette oscillanti; eccitatori inerziali; eccitatori elettrodinamici; congegni pirotecnici.

*Prove di volo ad alto rischio. [8 ore]*

Caratteristiche generali della vite: l'autorotazione; autorotazione definita; gradi di libertà verticale, orizzontale e al beccheggio; le condizioni di equilibrio. Manovre per entrare ed uscire dalla vite. Le condizioni di similitudine. Prove di vite: prove con modelli in galleria del vento e controllati via radio. Prove al vero; considerazioni sulla sicurezza. Progetto del paracadute antivite. Prove di riaccensione in volo: problematiche e tecniche sperimentali.

*Determinazione di derivate aerodinamiche. [18 ore]*

Premessa sull'analisi dei moti di piccola perturbazione. Considerazioni generali sul moto di beccheggio; risposta in frequenza ad una eccitazione di tipo sinusoidale di beccheggio; moto oscillatorio libero di beccheggio a comandi bloccati susseguente ad una eccitazione ad impulso con il comando longitudinale; risposta ad una manovra a gradino; determinazione della risposta in frequenza mediante l'uso della trasformata di Fourier. Determinazione dei coefficienti di risposta di un velivolo mediante l'uso della trasformata di Laplace e mediante il rilievo dei valori simultanei delle variabili di volo.

Determinazione delle singole derivate aerodinamiche. Determinazione delle derivate aerodinamiche mediante l'analisi delle equazioni del moto. Metodi semplificati per la misura di particolari derivate aerodinamiche. Determinazione delle derivate aerodinamiche di stabilità e di smorzamento col metodo della rappresentazione vettoriale. Accenno al moto latero-direzionale. Determinazione semplificata della derivata di stabilità direzionale.

## **Laboratori e/o esercitazioni**

Non vi è una predefinita suddivisione tra lezioni ed esercitazioni: le esercitazioni si svolgeranno nel momento in cui l'argomento raggiunto nel programma delle lezioni lo richiederà.

Alcune lezioni ed esercitazioni potranno essere tenute come conferenze da persone dell'industria esperte nel campo specifico.

## **Bibliografia**

Non esistono libri di testo. Per la consultazione riguardo ad alcune parti del corso si consigliano i seguenti volumi:

A. LAUSETTI, L'atmosfera in quiete, Ed. Levrotto & Bella, Torino.

D.T. WARD, Introduction to Flight Test Engineering, Elsevier - Amsterdam.

B. DICKINSON, Aircraft Stability and Control for Pilots and Engineers, Sir Isaac Pitman & Sons LTD - London.

B. ETKIN, Dynamics of Flight - Stability and Control, John Wiley & Sons, Inc. - New York.

## **Esame**

La valutazione consiste in un tradizionale esame orale.

## **B5230    STRUMENTAZIONE AERONAUTICA**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Lorenzo BORELLO</b>

---

### **Presentazione del corso**

Scopo del corso è fornire le cognizioni e gli approfondimenti sulla strumentazione aeronautica e in genere sull'avionica indispensabili alla acquisizione ragionata dei loro principi di funzionamento, dei loro problemi di progettazione e costruzione, nonché, alla valutazione delle loro prestazioni e del loro comportamento dinamico; tutto ciò è integrato nel contesto del progetto, della produzione e dell'impiego sia degli apparati di bordo che del velivolo completo in termini di sistema finalizzato all'espletamento economico e sicuro di definite missioni. La tematica progettuale integrata del componente, del sottosistema e del sistema completo è alla base di ogni argomento trattato: pertanto i concetti relativi ai problemi di progettazione e costruzione degli equipaggiamenti (forniti a chiarimento di quanto sopra) sono orientati verso la strutturazione di una mentalità idonea a condurre analisi di sensibilità delle prestazioni ai parametri di progetto, nonché, stime di vantaggi e svantaggi conseguibili dalle scelte progettuali stesse. Da quanto sopra riportato si evince una naturale continuità nei confronti del corso di Impianti aeronautici, che, se da una parte suggerisce di considerare lo stesso come propedeutico a Strumentazione aeronautica, dall'altra richiede, per completezza ed organicità di preparazione, di far seguire quest'ultimo al primo. Il corso verte su di un certo numero di lezioni supportate da esercitazioni in laboratorio di calcolo ed in laboratorio di impianti, consistenti nell'analisi dal vero di equipaggiamenti e banco funzionante di simulazione di servomeccanismi oleodinamici, nell'analisi della documentazione tecnica disponibile, nell'esecuzione di calcoli numerici e nella preparazione e nell'uso di programmi di simulazione su calcolatore relativi a sistemi e componenti significativi.

### **Prerequisiti**

Per un facile approccio alla materia, spiccatamente interdisciplinare, è necessario possedere solidi concetti di Meccanica applicata, Termogasdinamica, Meccanica del volo (aspetti statici necessari, aspetti dinamici desiderabili), Elettrotecnica ed Impianti aeronautici.

### **Programma**

- *Generalità sull'intero corso (Moduli A+ B) ed introduzione. [4 ore lez.]*

Concetti di sistema ed apparato aeronautico o spaziale, impianti ed avionica (comandi e strumentazione).

Impianto come erogatore di potenza. Avionica come mezzo di gestione di informazioni e comandi. Generalità sui tipici problemi dell'avionica, dei componenti e dei subsistemi. Funzioni di controllo di motori ed equipaggiamenti, di pilotaggio, di navigazione.

- *Il problema del rapporto uomo-macchina-ambiente in genere. [4 ore lez.]*

Identificazione dei canali di interazione tra pilota, velivolo e ambiente (comandi, sensori, sistemi di trasmissione, elaborazione e presentazione dei dati) con particolare atten-

zione alle funzioni dell'avionica; problematica della presentazione di dati: metodi simbolici, analogici, digita-133.li; relativi vantaggi e svantaggi in termini di rapidità e accuratezza di acquisizione dell'informazione, nonché, di probabilità di corretta lettura; soluzioni classiche, HUD, HDD; analisi dei criteri di presentazione delle informazioni funzionali al compito da svolgersi e mirati all'ottenimento di risposte pronte, accurate, affidabili.

- *Servomeccanismi elettrici* [2 ore lez. + lab.A1]

Rudimenti di servomeccanismi di velocità e posizione generici; particolare riferimento ad asservimenti elettromeccanici tipicamente nonlineari con richiami sulla caratteristica elettro-meccanica di motori elettrici DC ad eccitazione separata per impiego come servomotori; relativi modelli dinamici in forma di diagrammi a blocchi.

- *Sistemi di navigazione.* [8 ore lez. + lab.A2 facoltativo]

Richiami sui concetti di radiotrasmissione; spettro delle lunghezze d'onda e impiego, modulazione, antenne, rumore e capacità di informazione, rapporto segnale/disturbo, banda passante, frequenza di taglio; propagazione onde, ionosfera, guide d'onda; antenne stilo, direttive, a paraboloide, a schiera; sistemi di navigazione rho-theta: radiofaro - radiogoniometro, VOR-DME, TACAN; sistemi di navigazione a griglie iperboliche: LORAN, DECCA, OMEGA; sistemi di navigazione autocontenuti: DOPPLER, INS (approfondito in seguito); sistemi di navigazione satellitare: TRANSIT, GPS; sistemi di atterraggio strumentale: ILS, MLS. Bussola magnetica, tipi ad induzione, problemi e meriti. Autopilota (outer loop) e sue funzioni principali di mantenimento assetto, quota o velocità verticale, velocità rispetto all'aria, prua e controlli di navigazione.

- *Le misure di dati d'aria.* [10 ore lez. + lab.A3]

Pressioni misurate totale e statica, temperatura di recupero, angoli misurati di incidenza e di derapata e conseguenti calcoli di pressioni calibrate totale e statica, temperature totale e statica, angoli calibrati di incidenza e di derapata, quote barometriche convenzionali, velocità indicata, calibrata, equivalente, vera, numero di Mach, velocità verticale; eventuale necessità di integrare i calcoli suddetti a fini di mutua correzione in un Air Data System a mezzo dell'associato Air Data Computer; sonde di pressione totale e statica, sonde di temperatura, trasduttori di pressione e temperatura, indicatori di angoli di incidenza e di derapata, variometri.

- *Il riferimento di verticale a bordo di un veicolo in moto vario.* [5 ore lez. + lab.A4]

Sensori pendolari, accelerometri, giroscopi di velocità angolare, giroscopi integratori di velocità angolare, giroscopi di angolo a due gradi di libertà. Piattaforme stabili e deduzione ragionata delle loro possibili concezioni e degli associati principi di funzionamento e logiche di controllo (classiche o Schuler-tuned) dell'asservimento di verticale nell'ambiente operativo costituito dal velivolo navigante e manovrante sul geoide rotante; effetti delle imperfezioni costruttive dell'apparato; misura degli angoli di beccheggio e rollio. Generalizzazione del concetto e sua estrapolazione nella realizzazione delle piattaforme inerziali (INS) stabilizzate a sospensione cardanica ed ulteriormente in quella dei navigatori inerziali strap-down.

- *Il rapporto uomo-macchina-ambiente nella funzione di pilotaggio: modi proprii.* [6 ore lez.]

Richiami sulla dinamica del volo perturbato del velivolo: cenni sulla deduzione delle equazioni di equilibrio dinamico (eventuali), sulle soluzioni (eventuali) e sulla correlata tipologia del moto; conseguente pilotabilità del velivolo, indici di pilotabilità e loro legami con le caratteristiche dei modi proprii perturbati dell'aeromobile; cenni alle cause che possono rendere sgradevole al pilotaggio la dinamica intrinseca della macchina; deduzione logica della concezione e del modo di operare dapprima di uno smorzatore di beccheggio (imbardata, rollio), quindi di un completo aumentatore di stabilità (inner loop di autopilota), relativi schemi funzionali e caratteristiche in relazione ai sensori più opportunamente impiegabili.

- *Il rapporto uomo-macchina-ambiente nella funzione di pilotaggio: sensibilità dei comandi. [6 ore lez.]*

Il problema della sensibilità dei comandi primari di volo, sforzi ed angoli di barra (in rapporto all'intensità della manovra desiderata) al variare della condizione di volo, valori minimi e massimi raccomandati e rispettive giustificazioni in termini di manovrabilità e controllabilità; andamento temporale degli sforzi nei transitori di ingresso in manovra ed effetti sulla controllabilità e sulla prontezza di risposta; effetti di giochi ed attriti sulla porzione meccanica delle linee di comando; scelte motivate di comandi assistiti, potenziati irreversibili; deduzione ragionata dell'architettura (rigidezza con precarico, q-feel, bob-weight, damper) e del modo di operare di un dispositivo di sensibilità artificiale per comandi primari irreversibili, recenti soluzioni costruttive e caratteristiche.

- *Comandi di volo primari e secondari: generalità. [12 ore lez.]*

Definizioni; requisiti a cui devono rispondere inerenti la pilotabilità, la compatibilità ambientale, le interfacce funzionali, le prestazioni, le caratteristiche di risposta dinamica, i fenomeni aeroelastici; difficoltà realizzate e di controllo, loro modellizzazioni a diversi livelli di accuratezza a frontedidifferenti fenomeni da evidenziarsi; comportamento fluidodinamico-meccanico (e scelta) di motori idraulici lineari e rotativi e curve caratteristiche del gruppo valvola-motore, problemi di stallo, di spunto e di sovravelocità ed eventuali rimedi adottabili.

- *Comandi di volo: componenti. [8 ore lez. + lab.B1 + lab.B2 facoltativo]*

Comportamento elettromeccanico e fluidodinamico (e scelta) di valvole di comando, tipi esistenti (EHV jet-pipe, EHV jet-deflector, EHV flapper-nozzle, DDV), loro caratteristiche funzionali e difficoltà realizzative e di controllo, loro modellizzazioni a diversi livelli di accuratezza a frontedidifferenti fenomeni da evidenziarsi; comportamento fluidodinamico-meccanico (e scelta) di motori idraulici lineari e rotativi e curve caratteristiche del gruppo valvola-motore, problemi di stallo, di spunto e di sovravelocità ed eventuali rimedi adottabili.

- *Comandi di volo: avarie, sistemi e architetture, ridondanze. [8 ore lez. + lab.B3 + lab.B4]*

Modi di guasto dei componenti, loro effetti, loro criticità e conseguente concezione delle ridondanze al fine di garantire adeguati comportamenti in avaria, nonché nei transitori di guasto; architetture ridondate tipiche di comandi primari, comandi secondari di trim, comandi secondari di ipersostentazione, comandi di motore, ecc.; metodi di monitoraggio; somma in forze, somma in velocità.

## **Laboratori e/o esercitazioni**

(In laboratori di calcolo e di impianti)

A1- Servomeccanismo elettrico non-lineare con saturazioni in amplificazione ed in coppia, attriti secchi, ingressi in posizione comandata ed in carico e uscita in posizione effettiva; studio ed esame critico del programma di simulazione esistente in FORTRAN, nonché, suo impiego finalizzato all'analisi di sensibilità di parametri significativi, mediante l'ottenimento delle curve di risposta dinamica a diff e renti ingressi; realizzazione, messa a punto guidata ed impiego di equivalente alternativo programma di simulazione dinamica in SIMULINK-MATLAB, con verifica di congruità dei risultati. [6 ore lab. calc.]

A 2 - Sintonizzatore tipo supere t e rodina e suo comportamento, al variare delle sue caratteristiche, in regime variabile (segnali in ingresso a portante modulata sinusoidalmente o impulsivamente); studio ed esame critico del programma di simulazione esistente in FORTRAN, nonché, suo impiego finalizzato all'analisi di sensibilità di parametri significativi, mediante l'ottenimento delle curve di risposta dinamica a differenti ingressi; realizzazione, messa a punto guidata ed impiego di equivalente alternativo

programma di simulazione dinamica in SIMULINK-MATLAB, con verifica di congruità dei risultati. [6 ore lab. calc.; facoltativo, escluso dal computo crediti]

A3- Caratteristiche dell'International Standard Atmosphere tramite legge di Laplace e legami Altitude - Mach - CAS - TAS-EAS a mezzo leggi termogasdinamiche; realizzazione su foglio elettronico di programma di calcolo e graficatura automatici. [2 ore lab. calc.]

A4- Sistema del secondo ordine non-lineare con saturazioni in forza o velocità e in posizione, attriti secchi, ingressi in forza e posizione del telaio di vincolo e uscita in posizione assoluta (analogia a servomeccanismo di posizione) o posizione relativa (analogia ad accelerometro o a rate-gyro); realizzazione, messa a punto guidata ed impiego del modello matematico e del relativo programma di simulazione dinamica. [4 ore lab. calc.]

A5- Esame di strumenti tipici. [2 ore lab. imp.]

(In laboratori di calcolo e di impianti)

B1- Curve caratteristiche meccaniche e fluidodinamiche di un gruppo costituito da valvola di comando e motore idraulico; realizzazione, messa a punto guidata ed impiego del modello matematico e del relativo programma di calcolo. [4 ore lab. calc.]

B2- Picchi di pressione e cavitazioni in un motore idraulico; realizzazione, messa a punto guidata ed impiego del modello matematico e del relativo programma di simulazione dinamica. [4 ore lab. calc.; facoltativo, escluso dal computo crediti]

B3- Sistema di comando di volo elettroidraulico con EHV (servovalvola elettroidraulica a due stadi), martinetto lineare e chiusura di anelli di posizione e velocità; studio ed esame critico del programma di simulazione esistente, nonché suo impiego finalizzato all'analisi degli effetti di tutte le tipiche non-linearità meccaniche presenti, mediante l'ottenimento delle curve di risposta dinamica a differenti ingressi. [6 ore lab. calc.]

B 4 - Esame ed impiego di banco idraulico per simulazione di servomeccanismi oleodinamici. [10 ore lab. imp.]

## **Bibliografia**

Testi di riferimento:

C. Villa, Dispense sui sistemi di navigazione. Documentazione fornita durante il corso.

Testi per approfondimenti:

D'Elia, La strumentazione standard degli aerei moderni, Masson Italia.

Pallett, Aircraft instruments, Pitman.

Kayton, Fried, Avionics navigation systems, Wiley.

Savet, Gyroscopes: theory and design, McGraw-Hill.

Gracey, Measurement of aircraft speed and altitude, Wiley.

Marro, Componenti dei sistemi di controllo, Zanichelli.

Jacazio, Piombo, Meccanica applicata alle macchine, Levrotto & Bella.

Barabaschi, Tasselli, Elementi di servomeccanismi e controlli, Zanichelli.

## **Esame**

L'esame, di tipo tradizionale, è condotto oralmente su quesiti concettuali ed applicativi (eventuali esercizi), mediante il possibile impiego dei propri appunti.

## **B5330    STRUTTURE AERONAUTICHE**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Giulio ROMEO</b>

---

### ***Presentazione del corso***

Il corso si propone di fornire agli allievi, dopo una breve descrizione della tecnologia di produzione delle strutture aeronautiche realizzate in materiale composito, le nozioni fondamentali sul calcolo di elementi di strutture aeronautiche; partendo da "una attenta analisi degli aspetti caratterizzanti il fenomeno fisico, al fine di una trasposizione ragionata di tali aspetti nell'approssimazione numerica", verranno prese in esame sia le teorie classiche sulle strutture a guscio ed a semiguscio realizzate con materiali isotropi ed anisotropi e sia il metodo degli elementi finiti; inoltre, saranno risolti, con le teorie classiche, diversi problemi relativi ai fenomeni nonlineari tipici delle strutture aeronautiche.

### ***Prerequisiti***

Scienza delle Costruzioni. Costruzioni Aeronautiche. Matematica Applicata.

### ***Programma***

Le funzioni della struttura e compiti dell'analisi strutturale. Le prescrizioni regolamentari: criteri di rigidità, di robustezza, di elasticità; carichi statici ed a fatica. La sicurezza strutturale. {2h}.

Nuovi materiali e nuove tecnologie per una maggiore efficienza energetica di un velivolo. Confronto delle caratteristiche fisico-meccaniche fra materiali metallici e compositi. Tecnologia dei materiali compositi: produzione delle fibre di carbonio, di boro, di vetro ed aramidiche. Composizione della matrice: resine epossidiche, poliammidiche, termoplastiche, metallica e ceramica. Lavorazione dei pre-impregnati. Polimerizzazione del composito. Filament winding, Poltrusion, SMC. Esempi di strutture realizzate in composito: Timone DC-10, Timone Boeing B-767, Deriva Lockheed L-1011, Airbus A-310, A-340. Ala ed Impennaggi Harrier AV-8V, Ala EFA, ecc. Risparmio di massa rispetto alle strutture metalliche. {12h}.

Teoria dei materiali compositi: Micromeccanica della lamina: caratteristiche meccaniche del composito, funzione dei due costituenti il materiale e loro percentuale in volume. Macromeccanica della lamina: Costanti elastiche per materiali ortotropi. Relazione tensione deformazione per una lamina con fibre orientate in direzione arbitraria. {4h}. Macromeccanica del laminato: Teoria classica secondo le ipotesi di Kirchhoff-Love. Rigidità estensionali, di accoppiamento e flessionali di un laminato anisotropo con orientazione arbitraria delle fibre. Carichi termici ed igroscopici. Stato di tensione e di deformazione nelle singole lamine del generico laminato. Modi di rottura e criteri di rottura di un laminato multistrato. Effetti igrotermici sulla stabilità dimensionale. Limiti di validità della CLT e tensioni interlaminari. {6h}.

Studio delle equazioni differenziali di equilibrio di un pannello anisotropo. Flessione e torsione di un pannello piano isotropo sottile soggetto a carichi laterali, longitudinali, trasversali e di taglio. Vincoli; condizioni al contorno; funzioni di forma. Calcolo della deflessione  $w$  fuori dal piano, del momento flettente e dello stato di tensione di un

generico pannello soggetto a carico trasversale distribuito mediante risoluzione dell'equazione differenziale. Confronti teorici-sperimentali. Flessione sotto carico trasversale, frequenze e modi di vibrare, con diversi tipo di vincolo, di un pannello ortotropo. Limiti di stabilità elastica dei pannelli ortotropi soggetti a compressione uni e biassiale e/o taglio. {8h}.

Flesso-torsione della trave; tensioni correttive in una generica trave per effetto dei vincoli; teoria di Wagner. Instabilità torsionale dei pannelli irrigiditi ed influenza della componente flesso-torsionale. Interazione fra instabilità torsionale e generale. Ottimizzazione della massa minima di pannelli irrigiditi. {6h}.

- Metodi energetici nell'analisi statica e dinamica dei pannelli isotropi ed anisotropi. Principio di stazionarietà dell'energia potenziale totale. Pannelli curvi sandwich: influenza della deformazione a taglio trasversale. Calcolo della deformata di un pannello sandwich soggetto a carico laterale. Carichi critici di un pannello sandwich curvo soggetto a carichi combinati nel piano. Metodo di Galerkin. Carichi critici di un laminato curvo soggetto a carichi combinati nel piano. {6h}.

- Il metodo degli elementi finiti. Formulazione generale del metodo: identificazione e descrizione di un elemento, scelta funzioni approssimante gli spostamenti, polinomi interpolatori, legame fra spostamento elemento e nodale, relazione deformazioni elemento - spostamenti, relazioni tensioni - deformazioni dell'elemento, carichi nodali equivalenti al campo degli spostamenti, relazione tensione - spostamenti nodali. Elemento asta. Elemento trave (di Eulero, di Timoshenko e fenomeno del locking). Elemento piano a 3 - 4 e 8 nodi. Scelta della discretizzazione della struttura. Elemento finito piastra (Kirchhoff e Mindlin). Elemento guscio. Elemento assialsimmetrico (triangolare e rettangolare). Elementi solidi (esaedrico a 8 nodi, tetraedrico a 4 nodi). Elementi assialsimmetrici membrana e guscio. Formulazione isoparametrica. Stima dell'errore di discretizzazione. Cenni sull'analisi dinamica delle strutture. {16h}.

- Analisi nonlineare dei pannelli anisotropi soggetti a compressione biassiale e taglio. Nonlinearità di tipo geometrico. Funzione di Airy ed equazione di congruenza. Risoluzione con il metodo di Galerkin; deformata fuori dal piano in condizioni di post-buckling sia in controllo di carico sia in controllo di spostamento; effetto delle imperfezioni iniziali. {6h}.

- Cassoni alari soggetti a flessione: effetto dei carichi di schiacciamento, conseguenti alla curvatura dell'ala, sulla deformata dei pannelli; limiti dell'analisi lineare; influenza dei termini nonlineari sul comportamento dei pannelli soggetti a compressione uniasiale e carico laterale. Determinazione della deflessione fuori dal piano; stato di tensione degli elementi del pannello. {3h}.

- Cassoni alari soggetti a torsione: effetto della tensione diagonale parziale sulla rigidità torsionale del cassone; applicazione del PLV e della stazionarietà dell'EPT per il calcolo dell'angolo delle direzioni principali di sollecitazione e del modulo elastico tangenziale del pannello in campo di tensione diagonale, per il calcolo del comportamento reale. Analisi in post-buckling dei pannelli a taglio lavoranti in campo di tensione diagonale parziale; influenza della deformata del pannello sulla rigidità a torsione del cassone. {3h}.

- Progettazione delle giunzioni meccaniche e per incollaggio nelle strutture in composito. Collegamenti meccanici: comportamento sotto carico dei giunti, rottura per strappamento, ovalizzazione, a taglio, effetto della distanza dal bordo libero; influenza della coppia di serraggio sul comportamento statico e a fatica della giunzione. Giunzioni per incollaggio; tipologia; criteri di progetto; stato di sollecitazione dell'adesivo e degli aderenti; effetto della plasticità dell'adesivo; effetto del trattamento superficiale degli aderenti. {2h}.



• Concentrazioni di tensioni nei pannelli anisotropi sul contorno di un foro circolare, ellittico, rettangolare o quadrato. Teoria di Lekhnitskii: equazioni di equilibrio e di congruenza, funzioni di Airy, radici complesse; fattore di correzione per tener conto delle dimensioni finite del pannello. {2h}.

Analisi sperimentale di strutture alari metalliche ed in composito soggette a taglio, flessione, torsione. Cassoni alari soggetti a flessione pura o torsione. Pannelli sandwich o laminati solidi pannelli irrigiditi soggetti a compressione uni e biassiale e taglio. Pannelli con fori rettangolari

soggetti a trazione/compressione uni e biassiale e taglio. Strutture reticolari soggette a taglio e flessione. Strutture incollate. Strutture soggette a carichi igrotermici. Strutture con danno da impatto soggette a fatica. Travi a sezioni a C soggette a flesso-torsione. {2h}.

## **Laboratori e/o esercitazioni**

Esercitazioni in aula

• Proiezione filmato su prove in volo di: veicolo spaziale DC-X DELTA CLIPPER, B-1, B-2, U-2, SR-71 Blackbird, STEALTH F-117, ecc.; filmato sulla realizzazione ed assemblaggio B-777; realizzazione e prove in volo del velivolo ad energia solare SOLAR CHALLENGER.

• Determinazione teorica-sperimentale delle rigidità estensionali, di accoppiamento e flessionali di un laminato anisotropo con orientazione arbitraria delle fibre. Carichi igrotermici. Stato di tensione e di deformazione nelle singole lamine del generico laminato. Verifica dei criteri di rottura di un laminato multistrato. Determinazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche di provini in composito: Estensimetria elettrica e prove di rottura a trazione o flessione su provini.

• Verifica dei carichi critici dei pannelli irrigiditi ad I in grafite/epoxy: generale, torsionale e locale (rivestimento e corrente).

• Determinazione delle tensioni correttive in una trave con sezione a Z soggetta a torsione ed influenza della componente flesso-torsionale.

Laboratorio

• Realizzazione di elementi di strutture aeronautiche (struttura alare, fusoliera) in materiale composito grafite/ epoxy.

• Prove sperimentali di compressione biassiale e taglio su pannelli lisci in condizioni di post-buckling, oppure

• Prove sperimentali di flesso/torsione su cassone alare e di fusoliera in grafite/epoxy a seconda delle tesi di laurea in corso nel Dipartimento.

Esercitazioni in laboratorio informatico

• Modellizzazione agli ELEMENTI FINITI (F.E.M.) di diversi elementi strutturali aeronautici in materiale composito (strutture reticolari, pannelli forati, pannelli irrigiditi.); dal modello all'analisi tramite pre- e post-processing MSC/PATRAN - NASTRAN.

• Creazione del modello geometrico (CAD MODEL): Creazione modello geometrico della struttura o tramite programmi di disegno (tipo CAD) capaci di generare file importabili in PATRAN (IGES) oppure direttamente dal PATRAN stesso nella sezione adibita a questo scopo.

• Creazione del modello da analizzare (FEM MODEL): Schematizzazione agli elementi finiti (MESH) del modello CAD; scelta degli elementi finiti adatti (aste, travi, piastre, solidi) per la MESH (nodi, elementi), attribuendo ad ogni elemento le proprietà e le caratteristiche del materiale. Assegnazione dei carichi e delle condizioni di vincolo per l'esecuzione dell'analisi.

• Analisi: Scelta del codice specifico di soluzione, procedura e parametri (Analisi Lineare Statica, Modale, Buckling, Risposta in frequenza, ecc.). Esportazione del file pronto, dalla compilazione PATRAN, per l'analisi NASTRAN, e viceversa, importazione nel modellatore PATRAN, dei risultati generati, per la visualizzazione e il controllo.

- Visualizzazione dei risultati dell'analisi (stati di tensione e di deformazione, spostamenti, frequenze proprie, stress termici) negli elementi caratterizzanti la struttura sotto l'azione dei carichi imposti.

#### Laboratorio

- Prove sperimentali di compressione biassiale e taglio su pannelli lisci in condizioni di post-buckling, oppure
- Prove sperimentali di flessione/torsione su cassone alare e di fusoliera in grafite/epoxy a seconda delle tesi in corso nel Dipartimento.

### **Bibliografia**

Non esiste un libro di testo a cui possa appoggiarsi questo modulo. Sono state redatte dal docente delle dispense disponibili presso la Politeko. Il Vol. I di tali dispense (parte tecnologica) riporta completamente tutti gli argomenti trattati nel corso. Il Vol. II (parte teorica) solo in parte; gli argomenti che vengono presentati sono trattati anche nei seguenti testi:

R.H. JONES, "Mechanics of Composite Materials", McGraw-Hill.

T.H. MEGSON, "Aircraft Structures for Engineering Students", Edward Arnold.

S.P. TIMOSHENKO, J.M. GERE, "Theory of Elastic Stability", McGraw-Hill.

J.M. WHITNEY, "Structural Analysis of Laminated Anisotropic Plates", Technomic.

G. BELINGARDI, "Il metodo degli elementi finiti nella progettazione meccanica", Livrotto & Bella.

### **Esame**

Gli studenti, per accedere agli esami, dovranno consegnare, almeno 3 giorni prima dell'appello ufficiale un elaborato scritto sugli argomenti trattati nelle esercitazioni. L'esame consiste in una discussione orale sugli argomenti trattati nel Corso.

## **B5370    STRUTTURE AEROSPAZIALI**

Periodo:	1
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>da nominare</b>

---

### **Presentazione del corso**

Questo è un corso specialistico di analisi strutturale dedicato allo studio delle problematiche, delle metodologie e degli strumenti computazionali utilizzati dall'industria aerospaziale durante il progetto strutturale. Nel corso vengono discusse le peculiarità del comportamento delle strutture aerospaziali e dei carichi che le sollecitano, formulati i modelli comportamentali più idonei e discussi dettagliatamente i modelli computazionali utilizzati per ottenerne la soluzione ingegneristica. Le tematiche affrontate riguardano la risposta nonlineare e la stabilità di strutture convenzionali e in materiale composito, la distribuzione delle tensioni, la modellizzazione del danno e dei relativi effetti sulle prestazioni e sulla durata in esercizio. Particolare enfasi viene data al metodo degli elementi finiti, che costituisce lo strumento numerico principale in ambito industriale.

Vengono discussi gli aspetti salienti (libreria di elementi e procedure numeriche implementate, ecc.) dei codici commerciali agli elementi finiti maggiormente diffusi e comparate le loro prestazioni (spettro d'uso, accuratezza, costi di elaborazione, ecc.).

### **Requisiti**

Nozioni di base fornite nei corsi di Scienza delle Costruzioni e Costruzioni Aeronautiche. e di Analisi Matematica.

Tali nozioni sono comunque richiamate di volta in volta durante le lezioni.

### **Programma**

#### **MODULO A: MODELLIZZAZIONE DELLE STRUTTURE AEROSPAZIALI**

Inquadramento dell'analisi delle strutture spaziali: architettura degli elementi e loro funzioni; problematiche peculiari del loro comportamento; discussione degli strumenti matematici più idonei per la soluzione ingegneristica;

pertinenze e obiettivi dell'analisi strutturale. Modellizzazione dei problemi strutturali e loro analisi: problemi di risposta, di stabilità e dinamici. Il metodo dei residui pesati per la ricerca di soluzioni analitiche e sue particolarizzazioni: metodo delle collocazioni, dei sottodomini, di Petrov-Galerkin, Bubnov-Galerkin e di Galerkin generalizzato. Richiami di analisi variazionale: funzionali, loro massimi e minimi, equazioni di Eulero e condizioni al contorno consistenti. Soluzioni analitiche mediante il metodo variazionale di Rayleigh-Ritz. Condizioni di equivalenza dei metodi di Rayleigh-Ritz e di Galerkin. Introduzione al metodo degli elementi finiti come applicazione delle precedenti approssimazioni ad una suddivisione in sottodomini. Modellizzazione di piastre e gusci anisotropi multistrato. Effetto della deformabilità al taglio trasversale nelle strutture multistrato. Modellizzazione della deformazione della normale ed accuratezza nella previsione della risposta, dello stato tensionale e del danneggiamento nelle strutture deformabili al taglio trasversale. Modelli classici tipo smeared-laminated e modelli tipo layerwise (modelli discrete-layer e modelli zig-zag): campo di applicazione e confronto delle prestazioni ottenibili dai vari modelli proposti in letteratura. Costruzione di nuovi modelli coerenti e scrittura delle equazioni comportamentali di un generico modello. Applicazione dei precedenti metodi approssimati alla soluzione di vari problemi (di risposta, di stabilità, di postbuckling, ecc.) nelle strutture multistrato.

## **MODULO B: ANALISI A ELEMENTI FINITI E ASPETTI COMPUTAZIONALI DELLA STABILITÀ**

In questo modulo viene affrontata l'implementazione pratica dei precedenti modelli in codici agli elementi finiti.

Vengono studiate in dettaglio le caratteristiche della soluzione agli elementi finiti e discussi pregi e difetti di varie formulazioni basate su approcci agli spostamenti, alle forze e misti. Viene sviluppato in dettaglio l'approccio agli spostamenti. Viene discusso lo sviluppo delle matrici di rigidità, di rigidità geometrica e di rigidità tangente, delle masse, del vettore dei carichi nodali equivalenti. Vengono analizzate le procedure di assemblaggio e di mapping; viene discusso il fenomeno del locking. Vengono affrontate le problematiche dell'implementazione pratica. Vengono inoltre analizzate le tecniche di soluzione di problemi lineari e di estrazione di autovalori nei codici agli elementi finiti. Viene discussa la scelta delle grandezze nodali e delle funzioni di forma e formulazione dell'elemento finito, in base alle caratteristiche richieste all'elemento.

In questo modulo vengono analizzate anche le problematiche computazionali della stabilità, le relative procedure non lineari e la loro implementazione nei codici agli elementi finiti. Il contenuto di questa parte del corso si delinea come segue. Classificazione dei tipi di comportamento al punto critico: punti di biforcazione (problemi di autovalori) e punti limite (problemi di risposta). Approcci perturbativi: approccio analitico di Koiter ed analisi di sensibilità alle imperfezioni di forma con il B-Method. Applicazione all'analisi di gusci nervati imperfetti (metodologie di Arbocz); aspetti salienti della soluzione dei problemi di pre-buckling, buckling e post-buckling come problemi two-point risolti con metodologie di shooting (metodo di Keller). Approcci continuativi per l'analisi della stabilità a elementi finiti: aspetti salienti delle metodologie path-followers ed esame critico di tali metodologie. Studio di alcuni tipi di parametrizzazione adattiva. Stepsize control. Esame critico delle metodologie in uso nei più diffusi codici commerciali multi-purpose (Nastran, Abaqus) e in codici specifici per l'analisi di stabilità (Stags). Applicazione all'analisi di stabilità a gusci nervati e multistrato anisotropi.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

#### *I MODULO*

Vengono risolti manualmente e mediante programmi di calcolo forniti una serie di problemi test, in cui vengono applicati i concetti e le metodologie argomento delle lezioni. Le esercitazioni sono svolte completamente in aula, sotto la guida del docente; pertanto non è richiesta agli allievi alcuna elaborazione a casa. Esse riguardano la soluzione approssimata mediante il metodo dei residui pesati e sue particolarizzazioni di problemi tipici dell'analisi strutturale. Vengono formulate e risolte le equazioni che governano il comportamento statico, dinamico e la stabilità biforciva di piastre multistrato. Una parte delle esercitazioni è svolta presso il laboratorio informatico e riguardano lo sviluppo e l'implementazione di codici di calcolo basati sugli approcci analitici trattati nel modulo.

#### *II MODULO*

Formulazione di un elemento finito piastra a quattro nodi, per piastre multistrato. Impiego di tale elemento per l'analisi della freccia, del carico critico biforcivo e delle frequenze proprie di una piastra multistrato.

Analisi di stabilità di un guscio cilindrico imperfetto mediante il codice Stags.

## **B5660    TECNOLOGIE DELLE COSTRUZIONI AERONAUTICHE**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

---

### **Presentazione del corso**

Il corso tratta principalmente i problemi realizzativi delle strutture e degli organi meccanici degli aeromobili nell'ottica dell'attività di fabbricazione, di officina, di controllo e di manutenzione. Un ulteriore scopo del corso è quello di fornire agli allievi conoscenze realistiche sui materiali nel loro comportamento meccanico e termofisico e sui loro procedimenti di lavorazione, atti a formare un'immagine concreta degli elementi meccanici strutturali e motoristici, sin dal momento della loro concezione progettuale. Il corso è aggiornato in modo da comprendere le ultime novità in fatto di materiali e di tecnologie si svolge con lezioni, esercitazioni, visite in ALENIA, ALITALIA, FIAT, etc.

### **Prerequisiti**

Corsi del biennio - Scienza delle Costruzioni.

### **Programma**

- *Tipologia e tecnologie di fabbricazione degli elementi costruttivi degli aeromobili (15 h):* Implicazioni di materiali e procedimenti tecnologici sui criteri di progetto strutturale; Possibile organigramma di Aziende costruttrici di aeroplani; Cenni sull'impostazione della configurazione e sul piano di sviluppo per la realizzazione di un velivolo civile; L'aeroplano (i principali elementi strutturali, esempi di strutture e di collegamenti, metodologie costruttive dell'aeromobile, tecnologie di fabbricazione dei principali elementi strutturali); Cenni sull'elicottero; La propulsione (la realizzazione di elementi costruttivi dei motori alternativi, problemi di esercizio e tecnologie di costruzione di elementi dei motori a turbina, cenni su coppie di attrito, cuscinetti e ingranaggi, pale d'elica, sospensioni elastiche).

- *Il sistema qualità e le sue prove (15 h):*

La normalizzazione: Qualità, Controllo della Qualità, Garanzia della Qualità, Sistema Qualità; La Garanzia della Qualità nell'Industria Aerospaziale e le norme NATO; Prove e metodi per il controllo e la valutazione del processo produttivo e della qualità del prodotto; Le prove per la caratterizzazione dei materiali; I difetti nei materiali, negli elementi metallici e nei compositi (difetti di fabbricazione e danneggiamenti in servizio); Le prove non distruttive (metodi e valutazione comparativa).

- *I materiali usati nell'Industria Aerospaziale (8 h):*

I materiali metallici (acciai, leghe di alluminio, leghe di magnesio, titanio), le materie plastiche (termoplastici, termoindurenti, elastomeri), i compositi a matrice polimerica, gli adesivi e le vernici: normalizzazione, caratteristiche e applicazioni in aeronautica

- *I procedimenti tecnologici (8 h):*

Colata; Procedimenti per deformazione a caldo e a freddo; Sinterizzazione (materiali ceramici, materie plastiche); Tecnologia delle fibre, dei compositi e delle gomme; Lavorazioni speciali; Trattamenti superficiali; Pulitura delle superficie; Lavorazioni ad asportazione di truciolo; Procedimenti di ricopertura.

## **B5640    TECNOLOGIA MECCANICA**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Francesco SPIRITO</b>

---

### ***Presentazione del corso***

Obiettivi del corso: fornire l'insieme di nozioni necessarie a comprendere come possa essere prodotto un particolare meccanico; analizzare i diversi elementi che compongono la macchina utensile; studiare i fondamenti teorici dei processi di lavorazione con asportazione di materiale e per deformazione plastica; introdurre i primi elementi di gestione delle macchine utensili; presentare una panoramica delle lavorazioni non convenzionali.

### ***Prerequisiti***

Comprensione di un disegno tecnico, nozioni sulle caratteristiche dei materiali metallici, elementi di scienza delle costruzioni.

### ***Programma***

Il taglio dei metalli  
Struttura dei metalli  
Stato di sollecitazione di un corpo  
Relazione tra tensione e deformazione  
Utensili elementari monotaglianti e meccanica della formazione del truciolo  
Forze di taglio  
Effetto, sul processo di formazione del truciolo, delle variabili indipendenti del sistema  
Angolo di spoglia frontale  
Spessore del truciolo  
Profondità di passata  
Velocità di taglio  
Materiale lavorato  
Aspetti tecnici della formazione del truciolo  
Problemi di taglio tridimensionale  
Tornitura (geometria utensile, tipologie di utensili, forze di taglio)  
Foratura (geometria utensile, tipologie di utensili, forze di taglio)  
Fresatura (geometria utensile, tipologie di utensili, forze di taglio)  
Rettificazione (geometria utensile, tipologie di utensili, forze di taglio)  
Durata utensili e materiali per utensili  
Cicli di lavorazione  
Criteri generali  
Valutazione parametri di taglio  
Controlli dimensionali  
Verifica caratteristiche pezzo (durezza, rugosità, ecc.)  
Lavorazioni per deformazione plastica  
Determinazione lavoro di deformazione

Calcolo forze di deformazione  
 Lavorazioni dal pieno  
 Estrusione, Laminazione, Fucinatura, Stampaggio, Trafilatura  
 Lavorazioni delle lamiere  
 Imbutitura, Tranciatura  
 Metodi fisici e chimici di lavorazione dei materiali  
 Elettroerosione  
 Lavorazioni elettrochimiche  
 Fresatura chimica  
 Lavorazioni a mezzo di ultrasuoni  
 Lavorazioni con il fascio elettronico  
 Lavorazioni con il plasma  
 Lavorazioni con il laser  
 Componenti della macchina utensile.  
 Struttura  
 Guide  
 Cambi di velocità  
 Motori elettrici  
 Gruppi idraulici  
 Organi di regolazione  
 Tipologie di macchine operatrici  
 Macchine ad asportazione  
 Torni, Fresatrici, Trapani, Alesatrici, Rettificatrici, Limatrici, Piallatrici  
 Macchine per deformazione  
 Magli, Presse  
 Macchine a Controllo Numerico  
 Principi del comando numerico  
 Unità di governo  
 Trasduttori di posizione  
 Caratteristiche di impiego della macchine a CN  
 Gestione delle macchine operatrici  
 Tipologie di Plant Layout  
 Automazione industriale  
 Analisi dei tempi  
 Gestione degli stock

### **Laboratori e/o esercitazioni**

#### *Esercitazioni*

Calcolo forze di taglio  
 Cicli di lavorazione  
 Disposizione macchine utensili nei reparti  
 Valutazione movimentazione particolari prodotti

#### *Laboratori*

Tornio parallelo  
 Fresatrice verticale  
 Trapano radiale, trapano a montante, trapano da banco  
 Tornio a CN  
 Prove di durezza  
 Metrologia (strumenti di misura)

## Bibliografia

- R. Ippolito, Appunti di Tecnologia Meccanica, Levrotto & Bella, Torino.  
A. A. V. V., Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico, Giunti Gruppo Editoriale, Firenze.  
F. Giusti, M. Santochi, Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

## Esame

L'esame si articola in due parti: una prova scritta ed una prova orale. La prova scritta comprende argomenti di teoria ed esercizi di calcolo. Il raggiungimento della sufficienza è essenziale per l'ammissione alla prova orale. La parte fiscale dell'esame ha inizio nel momento in cui l'allievo consegna l'elaborato: pertanto è data ampia facoltà allo studente di ritirarsi in qualunque momento durante la prova scritta. La prova orale inizia con la discussione dell'elaborato e prosegue con un colloquio che può trattare argomenti dell'intero programma del corso.



## **B5660    TECNOLOGIE DELLE COSTRUZIONI AERONAUTICHE**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

---

### **Presentazione del corso**

Il corso tratta principalmente i problemi realizzativi delle strutture e degli organi meccanici degli aeromobili nell'ottica dell'attività di fabbricazione, di officina, di controllo e di manutenzione. Un ulteriore scopo del corso è quello di fornire agli allievi conoscenze realistiche sui materiali nel loro comportamento meccanico e termofisico e sui loro procedimenti di lavorazione, atti a formare un'immagine concreta degli elementi meccanici strutturali e motoristici, sin dal momento della loro concezione progettuale. Il corso è aggiornato in modo da comprendere le ultime novità in fatto di materiali e di tecnologie si svolge con lezioni, esercitazioni, visite in ALENIA, ALITALIA, FIAT, etc.

### **Prerequisiti**

Corsi del biennio - Scienza delle Costruzioni.

### **Programma**

- *Tipologia e tecnologie di fabbricazione degli elementi costruttivi degli aeromobili (15 h):* Implicazioni di materiali e procedimenti tecnologici sui criteri di progetto strutturale; Possibile organigramma di Aziende costruttrici di aeroplani; Cenni sull'impostazione della configurazione e sul piano di sviluppo per la realizzazione di un velivolo civile; L'aeroplano (i principali elementi strutturali, esempi di strutture e di collegamenti, metodologie costruttive dell'aeromobile, tecnologie di fabbricazione dei principali elementi strutturali); Cenni sull'elicottero; La propulsione (la realizzazione di elementi costruttivi dei motori alternativi, problemi di esercizio e tecnologie di costruzione di elementi dei motori a turbina, cenni su coppie di attrito, cuscinetti e ingranaggi, pale d'elica, sospensioni elastiche).

- *Il sistema qualità e le sue prove (15 h):*

La normalizzazione: Qualità, Controllo della Qualità, Garanzia della Qualità, Sistema Qualità; La Garanzia della Qualità nell'Industria Aerospaziale e le norme NATO; Prove e metodi per il controllo e la valutazione del processo produttivo e della qualità del prodotto; Le prove per la caratterizzazione dei materiali; I difetti nei materiali, negli elementi metallici e nei compositi (difetti di fabbricazione e danneggiamenti in servizio); Le prove non distruttive (metodi e valutazione comparativa).

- *I materiali usati nell'Industria Aerospaziale (8 h):*

I materiali metallici (acciai, leghe di alluminio, leghe di magnesio, titanio), le materie plastiche (termoplastici, termoindurenti, elastomeri), i compositi a matrice polimerica, gli adesivi e le vernici: normalizzazione, caratteristiche e applicazioni in aeronautica

- *I procedimenti tecnologici (8 h):*

Colata; Procedimenti per deformazione a caldo e a freddo; Sinterizzazione (materiali ceramici, materie plastiche); Tecnologia delle fibre, dei compositi e delle gomme; Lavorazioni speciali; Trattamenti superficiali; Pulitura delle superfici; Lavorazioni ad asportazione di truciolo; Procedimenti di ricopertura.

- *Teoria delle probabilità e statistica applicata a prove distruttive non distruttive e controllo di qualità (20 h)*

- *I materiali e le loro proprietà (20 h).*

Le proprietà; La struttura dei materiali e le loro proprietà; Equazioni fondamentali della meccanica del continuo; La fatica; Osservazioni sperimentali, meccanismi e criteri per la frattura duttile; Attrito interno; Ossidazione e corrosione; Attrito e usura; Degradazione dei polimeri.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Disegno di alcune parti e attrezzature di produzione; Cicli di lavorazione; Laboratorio DIASP; Visite guidate.

Verifiche statistiche; Verifica di organi e scelta del materiale più adatto.

### **Bibliografia**

CLERICO, M., 1987, *Le tecnologie aeronautiche*, Levrotto & Bella.

CLERICO, M., 1996, *Il Sistema Qualità e le sue prove*, Levrotto & Bella.

Appunti su materiali e procedimenti tecnologici che variano a seconda delle tendenze dell'Industria Aerospaziale.

CLERICO, M., 1993, *I materiali e le loro proprietà*, Levrotto & Bella.

### **Esame**

Un esame tradizionale costituito da un colloquio orale conclude il corso.

## **B5930    TEORIA MATEMATICA DEI CONTROLLI**

Periodo:	2
Crediti:	10
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	da nominare

---

### **Presentazione del corso**

Nella progettazione, l'ingegnere deve prevedere, di regola, dispositivi di tipo meccanico o elettronico capaci di regolare in modo automatico o manuale il funzionamento ottimale dell'impianto. I modelli che si elaborano a tale scopo si dicono sistemi di controllo. Il corso fornisce le basi matematiche necessarie alla teoria dei sistemi di controllo e alle sue applicazioni. Argomenti principali del corso sono la teoria della stabilità, il calcolo delle variazioni, i fondamenti della teoria dei sistemi con ingressi e il controllo ottimo.

### **Requisiti**

Il contenuto essenzialmente matematico del corso richiede, quali conoscenze propedeutiche, quelle fornite nei corsi di Analisi Matematica I e II, Geometria e Meccanica Razionale.

### **Programma**

#### **MODULO A: EQUAZIONI DIFFERENZIALI E TEORIA DELLA STABILITA'**

Sistemi in tempo continuo senza ingressi definiti da sistemi di equazioni differenziali ordinarie in dimensione finita, con particolare attenzione al caso lineare. Punti di equilibrio; stabilità e stabilità asintotica nel senso di Liapunov. Metodo delle funzioni di Liapunov.

#### **MODULO B: CALCOLO DELLE VARIAZIONI E CONTROLLO OTTIMO**

Sistemi lineari tempo-invarianti con ingressi. Controllabilità, osservabilità, stabilizzabilità. Problema base del calcolo delle variazioni ed equazione di Eulero. Problemi a valori terminali liberi e problemi con vincoli. Controllo ottimo e principio di massimo di Pontrjagin.

### **Bibliografia**

A. Bacciotti, Teoria Matematica dei Controlli, CELID, Torino, 1998

### **Esame**

Al termine del primo emisemestre si effettuerà una valutazione scritta sui contenuti del modulo A, e al termine del secondo emisemestre si effettuerà una valutazione scritta sui contenuti del modulo B. Di tali valutazioni si terrà conto al momento dell'esame finale, che consisterà in un colloquio orale. Gli studenti che non hanno sostenuto le prove di accertamento o che non le avessero superate positivamente, dovranno rispondere ad alcune domande scritte prima di sostenere il colloquio.

## 01A00 DIRITTO DELL'AMBIENTE

Periodo	di
Crediti	3
Precedenze obbligatorie	
Docente	Riccardo MONTANARO

---

### Presentazione del corso

Il corso si propone di fornire una preparazione giuridica di base sulla disciplina costituzionale e interna in materia di tutela dell'ambiente, di lotta agli inquinamenti e rischi industriali. Una prima parte verrà dedicata ai profili costituzionali, poi agli aspetti del diritto ambientale e all'assetto delle competenze, particolare attenzione verrà dedicata alla legislazione in merito al personale delle procedure amministrative e alla sua futura organizzazione amministrativa delle discipline di ambiente e di tutela del territorio. La seconda parte sarà dedicata alla disciplina dei rischi industriali.

**SCIENZE UMANE**

### Programma

Modulo generale: ambiente e inquinamento, i principi costituzionali in materia ambientale, l'Unione Europea e l'intervento in materia ambientale, dal recepimento delle direttive legislative alla fondazione del diritto ambientale in sede amministrativa. I principi fondamentali dello sviluppo sostenibile, della prevenzione, della protezione del territorio, nonché del "chi inquina paga". L'assetto delle competenze tra Stato, Governo, Ministero dell'Ambiente, le Regioni, gli enti locali (Province, Comuni e Comuni a Statuto Speciale), gli organismi tecnico-consulenti statali e locali.

I procedimenti amministrativi in materia ambientale: la pianificazione, le autorizzazioni (i presupposti soggettivi e oggettivi, il procedimento, orari e prerogative, il controllo di controllo).

La disciplina del settore: la Valutazione di Impatto Ambientale, il Danno ambientale, l'inquinamento idrico e la gestione delle risorse idriche, l'inquinamento acustico, la gestione del rifuso, l'inquinamento atmosferico, l'inquinamento elettromagnetico, il rumore luminoso, prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento ambientale. La disciplina dei rischi industriali: il diritto costituzionale, le norme legislative, i procedimenti, analisi di applicazione, evoluzione, contenuti, criticità.

### Bibliografia

R. Ferrara - F. Fracchia - N. Oliveri Bassi, *Diritto dell'ambiente*, Giuffrè, 2007.  
R. Ferrara - R. Lombardi, *Codice dell'Ambiente*, Cedars, Padova, 2007.  
Altri testi e rapporti istituzionali e giuridici inerenti verranno indicati dal docente durante lo svolgimento delle lezioni.

### Esame

L'esame consisterà in una verifica orale delle conoscenze acquisite, sia a livello generale che specifico. Nell'ambito del corso potrà essere richiesto anche la redazione di relazioni scritte su tematiche specifiche, da discutere in aula.

## 01AOD DIRITTO DELL'AMBIENTE

Periodo:	4
Crediti:	3
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Riccardo MONTANARO

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di fornire una preparazione giuridica di base sulla normativa comunitaria e interna in materia di tutela dell'ambiente, di lotta agli inquinamenti e di rischi industriali. Una prima parte verrà dedicata ai profili istituzionali, alle fonti del diritto ambientale e all'assetto delle competenze; particolare attenzione verrà dedicata alla illustrazione, in termini generali, delle procedure pianificatorie e autorizzatorie. Seguirà una trattazione sistematica delle discipline di settore (inquinamento idrico, atmosferico, da rifiuti, elettromagnetico, luminoso). Un ambito specifico verrà dedicato alla disciplina dei rischi industriali.

### **Programma**

Nozioni generali: ambiente e inquinamento. I principi costituzionali in materia ambientale. L'Unione Europea e l'intervento in materia ambientale: dal ravvicinamento delle legislazioni alla fondazione del diritto ambientale in sede comunitaria. I principi fondamentali dello sviluppo sostenibile, della prevenzione, della protezione dei beni fondamentali, del "chi inquina paga". L'assetto delle competenze interne: il Governo e il Ministero dell'Ambiente; le Regioni; gli enti locali (Province, Comuni e Consorzi intercomunali); gli organismi tecnico-consultivi statali e locali.

I procedimenti amministrativi in materia ambientale: la pianificazione; le autorizzazioni (presupposti soggettivi e oggettivi; il procedimento; criteri e prescrizioni); le procedure di controllo.

Le discipline di settore: la Valutazione di Impatto Ambientale; il danno ambientale; l'inquinamento idrico e la gestione delle risorse idriche; l'inquinamento atmosferico; la gestione dei rifiuti; l'inquinamento acustico; l'inquinamento elettromagnetico; l'inquinamento luminoso; prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento (IPPC).

La disciplina dei rischi industriali: le direttive comunitarie; la normativa interna (definizioni, ambito di applicazione, evoluzione, contenuto, criticità).

### **Bibliografia**

R. Ferrara - F. Fracchia - N. Olivetti Rason, *Diritto dell'ambiente*, Laterza, Bari, 1999

R Ferrara - R. Lombardi, *Codice dell'Ambiente*, Cedam, Padova, 2000

Altri testi e apporti dottrinari e giurisprudenziali verranno indicati dal docente su temi specifici.

### **Esame**

L'esame consisterà in una verifica orale delle conoscenze acquisite, sulle tematiche di ordine generale e specifico. Nell'ambito del corso potrà essere assegnata agli studenti la redazione di relazioni scritte su tematiche specifiche, da discutere in sede di esame orale.

## 01DAO ESTETICA A

Periodo: 4  
Crediti: 3  
Precedenze obbligatorie:  
Docente: Roberto SALIZZONI

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di illustrare le principali posizioni espresse nel corso del Novecento dalla filosofia e dalle scienze umane sui temi dell'arte e della bellezza. Estetica filosofica, antropologia, sociologia e psicologia, in un rapporto di dialogo e di reciproco scambio, elaborano teorie ed analisi dei fatti artistici e dei fenomeni della bellezza. È possibile percorrere, seguendo i fili tematici dell'estetica, le aree più interessanti del discorso filosofico ed umanistico del nostro secolo. Il corso propone alcuni di questi percorsi, mirando a chiarire le diverse prospettive metodologiche, a mettere a punto un lessico filosofico essenziale, a introdurre gli autori più significativi.

### **Programma**

Arte, linguaggio e comunicazione (L'ecologia della mente secondo Bateson; i diversi modi di concepire l'inconscio da Freud alla "prammatica della comunicazione"; stile, grazia e bellezza come condizioni della comunicazione).

Arte, tecnica, natura (Il rapporto tra arte, mito e scienza secondo C. Lévi-Strauss; l'arte come risposta possibile allo sviluppo della tecnica secondo W. Benjamin; tecnica e natura in M. Heidegger).

Creazione e ricezione dell'opera (R. Jauss e il piacere estetico; il problema dell'autore secondo l'ermeneutica).

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Durante il corso saranno introdotte e commentate parti determinate delle opere indicate in bibliografia

### **Bibliografia**

- W. Tatarkiewicz, Storia di sei Idee, Palermo, Aesthetica  
C. W. Benjamin, L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica, Torino, Einaudi.  
C. Lévi-Strauss, Il pensiero selvaggio, Milano, il Saggiatore  
G. Bateson, Verso un'ecologia della mente, Milano, Adelphi  
H.R. Jauss, Apologia dell'esperienza estetica, Torino, Einaudi  
T. W. Adorno, Teoria estetica, Torino, Einaudi  
M. Heidegger, Saggi e discorsi, Milano, Mursia.

### **Esame**

Sono previste prove scritte di verifica durante il corso e come prova finale.

## 01DAP ESTETICA B

Periodo:	4
Crediti:	2
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Roberto SALIZZONI

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di illustrare le principali posizioni espresse nel corso del Novecento dalla filosofia e dalle scienze umane sui temi dell'arte e della bellezza. Estetica filosofica, antropologia, sociologia e psicologia, in un rapporto di dialogo e di reciproco scambio, elaborano teorie ed analisi dei fatti artistici e dei fenomeni della bellezza. È possibile percorrere, seguendo i fili tematici dell'estetica, le aree più interessanti del discorso filosofico ed umanistico del nostro secolo. Il corso propone alcuni di questi percorsi, mirando a chiarire le diverse prospettive metodologiche, a mettere a punto un lessico filosofico essenziale, a introdurre gli autori più significativi.

### **Programma**

In particolare il modulo B propone sviluppi del modulo A attraverso temi e problemi più vicini alla prassi artistica ed estetica in generale  
L'arte astratta e le sue interpretazioni, Museo, collezione, esposizione. Il paesaggio come problema estetico.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Durante il corso saranno introdotte e commentate parti determinate delle opere indicate in bibliografia.

### **Bibliografia**

- AA. VV., *The spiritual in Art: Abstract Painting 1890-1985*, New York, Abbeville
- S. Stewart, *On Longing*, Londra, Duke Univ. Press
- J. Clifford, *I frutti puri impazziscono*, Torino, Bollati; e dello stesso autore *Strade*, Torino, Bollati.

### **Esame**

Sono previste prove scritte di verifica durante il corso e come prova finale.

## 01DAW ETICA AMBIENTALE

Periodo:	4
Crediti:	3
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Paolo VINEIS

---

### **Presentazione del corso**

Secondo una diffusa interpretazione la descrizione della natura avviene tramite proposizioni osservative il cui significato non cambia col mutare delle teorie; e le teorie devono il loro valore di verità alla possibilità di tradurle, secondo regole univoche di corrispondenza, in proposizioni osservative. Anche nell'etica troviamo un analogo programma consistente nel derivare decisioni certe da premesse universali associate a regole deduttive (il cosiddetto "principlismo"). Tutti e due i modelli sono entrati in crisi negli ultimi decenni. Esistono però soluzioni alternative. Comune alle proposte di soluzione è la transizione da una concezione basata su leggi univoche e universali ad una concezione più debole fondata su "fuzzy sets". Nelle scienze la teoria dei fuzzy sets si applica per esempio nella classificazione delle specie animali, o delle malattie umane: essa trae essenzialmente origine dalla idea wittgensteiniana delle classificazioni politetiche (l'appartenenza alla stessa classe non avviene sulla base di un unico criterio ma di più criteri embricati, come in una corda formata di tanti fili nessuno dei quali è lungo quanto la corda stessa). Anche in campo etico la teoria dei fuzzy sets sembra di una certa utilità: perfino principi categorici come "non uccidere" perdono la loro assolutezza in contesti particolari. La teoria dei fuzzy sets può consentire di risolvere intricati problemi etici e di tener conto del contesto nel formulare un giudizio etico.

### **Programma**

L'etica ambientale: le diverse correnti contemporanee. Il paradigma di Georgetown. La tradizione americana e quella europea. Le difficoltà della teoria etica in rapporto con l'evoluzione delle tecnologie. Esempi: la riproduzione assistita, i cibi geneticamente modificati, i tests genetici. Il concetto di fuzzy set applicato alle scienze. Teoria della classificazione. Il concetto di fuzzy set applicato all'etica.

### **Bibliografia**

- S. Bartolommei: Etica e natura. Laterza, 1995
- R. Dworkin: Il dominio della vita. Edizioni di Comunità, 1994
- P. Vineis: Nel crepuscolo della probabilità. Einaudi Editore, 1999
- Mark Johnson: Moral Imagination. University Chicago Press, 1993.

### **Esame**

Si baserà sulla discussione di un caso presentato dallo studente.



# 01DAQ **FILOSOFIA DELLA MENTE A (MENTE, CERVELLO E COMPUTER)**

Periodo:	4
Crediti:	3
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Alberto VOLTOLINI</b>

---

## **Presentazione del corso**

Il corso si incentrerà in due parti, la prima di base (A) e la seconda di approfondimento tematico (B). Nella prima parte saranno presentate alcune prospettive fondamentali che si fronteggiano nell'ambito di filosofia della mente intorno alla questione di che cos'è uno stato mentale: la prospettiva dualista, quella comportamentista, quella materialista e quella funzionalista. Quest'ultima sarà vista tanto nella versione più semplice, come funzionalismo causale, quanto nella sua versione più sofisticata, il funzionalismo computazionale. Questa versione permetterà di dedicare specifica attenzione ad un problema che il vertiginoso sviluppo delle scienze cognitive da un lato e dell'intelligenza artificiale dall'altro rende sempre più attuale, ossia se il paragone tra la mente e il computer fornisca la chiave per comprendere che cos'è davvero la mente o sia soltanto uno strumento utile per capire il suo funzionamento. Attraverso l'analisi di queste prospettive, si cercherà di illustrare le due fondamentali opzioni filosofiche che si fronteggiano a proposito della mente: la concezione riduzionista, per cui tutto ciò che è mentale rientra nell'ordine naturale del mondo e può dunque in linea di principio essere studiato dalle scienze naturali, e quella anti-riduzionista, per cui la mente ha certe proprietà speciali, per cui non può essere completamente compresa dalla scienza. Nella seconda parte, i temi trattati nella prima parte verranno riconsiderati alla luce della questione di che cos'è la causazione mentale, ossia del rapporto mente - corpo (cervello) e il problema della loro interazione, e di quali sono gli ostacoli alla realizzazione di un programma di naturalizzazione della mente: il carattere qualitativo e soggettivo degli stati mentali, l'esistenza dei contenuti mentali e dell'intenzionalità, cioè del fatto che gli stati mentali vertano su cose ed eventi del mondo.

## **Programma**

- Il dualismo cartesiano: mente e corpo come sostanze separate.
- Il rifiuto della mente: il programma comportamentista. Limiti del programma.
- Il materialismo radicale e quello moderato: varie teorie dell'identità tra stati mentali e stati cerebrali.
- Il programma funzionalista e l'idea di 'realizzabilità multipla' di uno stato mentale.
- Il funzionalismo computazionale: la mente come un computer. Macchine di Turing, test di Turing; le obiezioni (l'argomento di Searle della 'stanza cinese').

## **Bibliografia**

Testo di riferimento:

Di Francesco, M., Introduzione alla filosofia della mente, La Nuova Italia Scientifica, Roma 1996.

Testi di consultazione:

M. Salucci, *Mente/Corpo*, La Nuova Italia, Firenze 1997.

R. Lanfredini, *Intenzionalità*, La Nuova Italia, Firenze 1998.

## Esame

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta su un tema trattato nel corso.

### Presentazione del corso

Il corso è dedicato allo studio della filosofia analitica, in particolare della filosofia della mente e della filosofia della lingua. Il corso è articolato in tre parti principali: la filosofia della mente, la filosofia della lingua e la filosofia della verità. La filosofia della mente è la disciplina che si occupa di studiare la natura e le caratteristiche della mente e del pensiero. La filosofia della lingua è la disciplina che si occupa di studiare la natura e le caratteristiche della lingua e del linguaggio. La filosofia della verità è la disciplina che si occupa di studiare la natura e le caratteristiche della verità e del vero.

### Programma

Il primo modulo del corso è dedicato allo studio della filosofia della mente. Il secondo modulo è dedicato allo studio della filosofia della lingua. Il terzo modulo è dedicato allo studio della filosofia della verità.

### Bibliografia

Il programma di consultazione è articolato in tre parti principali: la filosofia della mente, la filosofia della lingua e la filosofia della verità.

Il corso è tenuto da una commissione di docenti che si occupa di studiare la natura e le caratteristiche della mente e del pensiero.

## **01DAR    FILOSOFIA DELLA MENTE B (MENTE CERVELLO E COMPUTER)**

Periodo: 4

Crediti: 2

Precedenze obbligatorie:

Docente: **Alberto VOLTOLINI**

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si incentrerà in due parti, la prima di base (A) e la seconda di approfondimento tematico (B). Nella prima parte saranno presentate alcune prospettive fondamentali che si fronteggiano nell'ambito di filosofia della mente intorno alla questione di che cos'è uno stato mentale: la prospettiva dualista, quella comportamentista, quella materialista e quella funzionalista. Quest'ultima sarà vista tanto nella versione più semplice, come funzionalismo causale, quanto nella sua versione più sofisticata, il funzionalismo computazionale. Questa versione permetterà di dedicare specifica attenzione ad un problema che il vertiginoso sviluppo delle scienze cognitive da un lato e dell'intelligenza artificiale dall'altro rende sempre più attuale, ossia se il paragone tra la mente e il computer fornisca la chiave per comprendere che cos'è davvero la mente o sia soltanto uno strumento utile per capire il suo funzionamento. Attraverso l'analisi di queste prospettive, si cercherà di illustrare le due fondamentali opzioni filosofiche che si fronteggiano a proposito della mente: la concezione riduzionista, per cui tutto ciò che è mentale rientra nell'ordine naturale del mondo e può dunque in linea di principio essere studiato dalle scienze naturali, e quella anti-riduzionista, per cui la mente ha certe proprietà speciali, per cui non può essere completamente compresa dalla scienza. Nella seconda parte, i temi trattati nella prima parte verranno riconsiderati alla luce della questione di che cos'è la causazione mentale, ossia del rapporto mente - corpo (cervello) e il problema della loro interazione, e di quali sono gli ostacoli alla realizzazione di un programma di naturalizzazione della mente: il carattere qualitativo e soggettivo degli stati mentali, l'esistenza dei contenuti mentali e dell'intenzionalità, cioè del fatto che gli stati mentali vertano su cose ed eventi del mondo.

### **Programma**

- Il rapporto mente-corpo: sono gli stati mentali causalmente efficaci?
- Il carattere qualitativo del mentale: che cos'è per uno stato mentale l'apparire al suo soggetto come dotato di certe qualità soggettive?
- Il problema del contenuto mentale. L'importanza del contenuto per l'individuazione di uno stato mentale; irriducibilità o meno della proprietà di avere un contenuto per uno stato mentale.
- La questione della 'naturalizzazione dell'intenzionalità': il vertere di uno stato mentale su un certo oggetto è una proprietà che appartiene all'ordine naturale del mondo?

### **Bibliografia**

Testo di riferimento:

Di Francesco, M., *Introduzione alla filosofia della mente*, La Nuova Italia Scientifica, Roma 1996.

Testi di consultazione:

M. Salucci, *Mente/Corpo*, La Nuova Italia, Firenze 1997.

R. Lanfredini, *Intenzionalità*, La Nuova Italia, Firenze 1998.

## Esame

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta su un tema trattato nel corso.

### Presentazione del corso

Il corso si incentrerà in due parti: la prima, la parte di base, si occuperà di spiegare il ruolo della filosofia nella cultura occidentale, e in particolare il ruolo della filosofia nel mondo moderno. La seconda parte, invece, sarà dedicata a una riflessione sul tema della mente e del corpo, con particolare riferimento alla filosofia analitica e alla fenomenologia. La prima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia, con particolare riferimento alla filosofia antica e medievale. La seconda parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia moderna, con particolare riferimento alla filosofia del XVII e XVIII secolo. La terza parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia contemporanea, con particolare riferimento alla filosofia del XIX e XX secolo. La quarta parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia analitica, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La quinta parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla fenomenologia, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La sesta parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della mente, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La settima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia del corpo, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. L'ottava parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della coscienza, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La nona parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della libertà, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La decima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della moralità, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. L'undicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della politica, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La dodicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della religione, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La tredicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della cultura, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La quattordicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della scienza, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La quindicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della storia, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La sedicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della lingua, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La diciassettesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della vita, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La diciottesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della morte, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La diciannovesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della felicità, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La ventesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della saggezza, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo.

### Programma

Il rapporto mente-corpo, sono gli altri aspetti, con particolare riferimento al ruolo della filosofia nella cultura occidentale, e in particolare il ruolo della filosofia nel mondo moderno. La seconda parte, invece, sarà dedicata a una riflessione sul tema della mente e del corpo, con particolare riferimento alla filosofia analitica e alla fenomenologia. La prima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia, con particolare riferimento alla filosofia antica e medievale. La seconda parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia moderna, con particolare riferimento alla filosofia del XVII e XVIII secolo. La terza parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia contemporanea, con particolare riferimento alla filosofia del XIX e XX secolo. La quarta parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia analitica, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La quinta parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla fenomenologia, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La sesta parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della mente, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La settima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia del corpo, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. L'ottava parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della coscienza, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La nona parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della libertà, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La decima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della moralità, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. L'undicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della politica, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La dodicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della religione, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La tredicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della cultura, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La quattordicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della scienza, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La quindicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della storia, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La sedicesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della lingua, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La diciassettesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della vita, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La diciottesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della morte, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La diciannovesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della felicità, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo. La ventesima parte del corso sarà dedicata a una introduzione alla filosofia della saggezza, con particolare riferimento alla filosofia del XX secolo.

### Bibliografia

Di Francesco, M. *Intenzionalità*, La Nuova Italia, Firenze 1998.  
Salucci, M. *Mente/Corpo*, La Nuova Italia, Firenze 1997.

## 01DAY FILOSOFIA E SCIENZA DEL NOVECENTO

Periodo:	4
Crediti:	3
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Franca D'AGOSTINI</b>

---

### **Presentazione del corso**

Obiettivo del corso è fornire un'immagine chiara e sintetica della situazione della filosofia nel secolo appena trascorso, utilizzando il filo conduttore dei rapporti tra filosofia e scienza. In particolare, sono distinte tre linee orientative nello sviluppo del pensiero del Novecento: a) una filosofia scientifica, ossia rigorosa e orientata al dialogo con la scienza; b) una filosofia che si presenta come alternativa alla scienza e che ritiene di essere in grado di criticare la razionalità scientifica; c) una scienza tendente a ereditare le domande fondamentali della filosofia (ad esempio quali la sociologia, la biologia o la psicoanalisi, che tendono a presentarsi come equivalente moderno di quel che era la filosofia nell'Ottocento).

Il corso intende fornire, di ciascuna delle tre impostazioni, alcuni esempi particolarmente indicativi per comprendere i problemi, le condizioni e le opportunità dei rapporti attuali tra filosofia e scienza.

### **Programma**

- Due filosofi-scienziati: Freud e Frege (premessa: la filosofia e le scienze del pensiero nei primi anni del Novecento)
- Neopositivismo e filosofia analitica (premessa: l'uso della logica formale in filosofia negli anni trenta-cinquanta)
- Esistenzialismo ed ermeneutica (premessa: la filosofia e il problema dell'essere).

### **Bibliografia**

Testo d'esame:

F. D'Agostini, Breve storia della filosofia nel Novecento. L'anomalia paradigmatica, Einaudi, Torino 1999, capp.: 2, 3, 7, 8, 9, 11

Un testo a scelta tra i seguenti:

G. Frege, "Il pensiero", in Ricerche logiche, Guerini, Milano;

S. Freud, un breve testo a scelta da concordare;

R. Carnap, Introduzione a La costruzione scientifica del mondo, Utet, Torino;

R. Carnap, "Oltrepassamento della metafisica", in A. Pasquinelli, Il neopositivismo, Utet, Torino;

K. Mulligan, "Metaphysique et ontologie", in P. Engel, Précis de philosophie analytique, P. U. F.

M. Heidegger, Introduzione a Essere e tempo, Longanesi, Milano.

### **Esame**

Si prevedono esercitazioni orali di commento ai testi e di analisi dei problemi.

Per sostenere l'esame, il candidato dovrà aver partecipato alle esercitazioni scritte e orali svolte durante il corso. L'esame finale prevede una prova orale articolata in due parti: nella prima il candidato dovrà dimostrare la conoscenza dei testi previsti; nella seconda dovrà illustrare documentatamente e criticamente le ragioni di ciascuna delle tre impostazioni studiate (questa seconda parte della prova può essere sostituita con una relazione scritta).

#### Presentazione del corso

Il corso ha lo scopo di fornire un'immagine chiara e sintetica della situazione della filosofia nel mondo attuale, attraverso il confronto con le posizioni dei maggiori filosofi del passato e del presente. Il corso è articolato in tre parti: la prima parte è dedicata alla filosofia antica, la seconda alla filosofia medievale e la terza alla filosofia moderna. Il corso è tenuto in lingua italiana e prevede l'uso di testi in lingua originale e tradotti. Il corso è tenuto in lingua italiana e prevede l'uso di testi in lingua originale e tradotti.

Il corso intende fornire al candidato una panoramica generale della filosofia e delle sue diverse correnti, con particolare riferimento alle posizioni dei maggiori filosofi del passato e del presente. Il corso è tenuto in lingua italiana e prevede l'uso di testi in lingua originale e tradotti.

#### Programma

Il corso è articolato in tre parti: la prima parte è dedicata alla filosofia antica, la seconda alla filosofia medievale e la terza alla filosofia moderna. Il corso è tenuto in lingua italiana e prevede l'uso di testi in lingua originale e tradotti.

#### Bibliografia

- Testi di esame:  
A. D'Agostini, *Breve storia della filosofia nel Rinascimento. L'atomismo paradigmatico*, Einaudi, Torino 1994, cap. 3, 4, 5, 6, 11.  
Vedi anche le opere di:  
G. Frege, *Il pensiero*, in *Scritti logici*, Garzanti, Milano.  
S. Freud, *Un breve testo a scelta da concordare*.  
E. Cassirer, *Introduzione a la costruzione esecutiva del mondo*, Utet, Torino.  
E. Cassirer, *Dibattimento della metafisica*, in *A. Pasquino*, *Il neopositivismo*, Garzanti, Torino.  
K. Muller, *Metaphysik et ontologie*, in *F. Engel*, *Essays de philosophie analytique*, P.U.F., Parigi.  
M. Heidegger, *Introduzione a Essere e tempo*, Garzanti, Milano.

#### Esame

Si prevedono esercitazioni orali di commento ai testi e di analisi del problema.

## 01CCA INTRODUZIONE AL PENSIERO CONTEMPORANEO

Periodo: 1  
Crediti: 5  
Precedenze obbligatorie:  
Docente:

Marilena ANDRONICO

---

### **Presentazione del corso**

Il corso si propone di presentare, ad un livello elementare, concetti, metodi, ed esempi della ricerca filosofica classica e attuale, in vari campi (metafisica, epistemologia,, filosofia della mente, filosofia morale, filosofia del linguaggio, filosofia politica). Sarà sottolineata la struttura argomentativa del discorso filosofico, cioè si cercherà di mettere in evidenza in che modo e con quali argomenti sono sostenute le diverse tesi filosofiche di volta in volta esaminate.

### **Programma**

Che cos'è la filosofia? Alcune concezioni della filosofia in: Aristotele, Stoicismo, Locke, Cartesio, Hegel, Wittgenstein; la distinzione tra filosofia analitica e filosofia continentale.

La conoscenza del mondo esterno e il punto di vista scettico

La conoscenza scientifica (concezione ingenua della scienza - induzione - falsificazionismo)

Verità: definizioni di verità e criteri di verità; corrispondenza e coerenza, giustificazione, verificaione; realismo e antirealismo.

Linguaggio e significato (la teoria di Frege - la teoria di Kripke - le idee di Wittgenstein)

Il problema mente-corpo (dualismo - riduzionismo - funzionalismo).

L'esistenza di Dio (argomenti per l'esistenza di Dio; Dio e il male).

Libero arbitrio e determinismo.

Giusto e sbagliato in senso morale (ci sono argomenti per l'altruismo? I principi e i valori morali sono universali?).

Giustizia, uguaglianza e libertà: nozioni di filosofia politica.

### **Bibliografia**

N. Warburton, Il primo libro di filosofia, Einaudi, Torino 1999 e T. Nagel, Una brevissima introduzione alla filosofia, Il Saggiatore, Milano 1989, saranno i testi base.

Saranno inoltre usati parti di R. Popkin, A. Stroll, Filosofia per tutti, Il saggiatore, Milano 1997; A. F. Chalmers, Che cos'è questa scienza? - La sua natura e i suoi metodi, Il mulino, Bologna 1992; A. C. Grayling, An introduction to philosophical logic, The harvest press, Sussex, 1982.

### **Esame**

L'esame prevederà la presentazione di una relazione scritta su un testo filosofico concordato col docente, e un compito scritto finale.

## 01CJQ SOCIOLOGIA DELLE COMUNICAZIONI DI MASSA A

Periodo:	1
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Chiara OTTAVIANO

---

### **Presentazione del corso**

Il corso mira a fornire strumenti di conoscenza utili per orientarsi all'interno della società contemporanea, oggi in profonda trasformazione anche rispetto alle innovazioni in corso nei modi e sistemi di comunicazioni. Non si tratta però solo di capire cosa ha implicato in tempi recenti la cosiddetta rivoluzione digitale, ma di comprendere come, sin dalle sue origini, i modi di produzione delle società industriali siano stati profondamente condizionati dai modi di comunicazione e trasmissione delle informazioni. Il corso avrà pertanto carattere interdisciplinare con punti di vista sociologici, economici, storici, culturali. Un'attenzione particolare sarà dedicata alle professioni e alle istituzioni coinvolte, nell'industria e nel mercato, ma anche al ruolo degli utenti finali, i consumatori, che possono o meno adottare le opportunità tecnologiche offerte. L'analisi di alcuni casi relativi all'introduzione di ormai "vecchi" mezzi di comunicazione sarà di ausilio per un approccio critico alla lettura di alcune ipotesi, oggi diffuse, intorno agli effetti e alle conseguenze delle cosiddette nuove tecnologie della comunicazione.

La stessa definizione di comunicazione di massa, coniata negli anni trenta, appare oggi non del tutto adeguata, giacché non comprende le innovazioni, tecniche e sociali, introdotte dalla telematica e dai mezzi che consentono interattività (in particolare Internet).

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Sono previste esercitazioni, con specifica attività di ricerca degli studenti, volte ad una riflessione originale e documentata su Internet.

### **Programma**

La cosiddetta "società dell'informazione": definizioni e quadro teorico

Le tesi di J. Beniger sulla "rivoluzione del controllo", in riferimento all'origine della società dell'informazione.

Cenni sulla storia e l'evoluzione dei mezzi e dei modi di comunicazione

Il tema della negoziazione sociale a proposito dell'introduzione di vecchie e nuove tecnologie della comunicazione: analisi di casi.

### **Bibliografia**

C. Ottaviano, *Mezzi per comunicare. Storia, società e affari dal telegrafo al modem*, Torino, Paravia, 1997

J. Meyrowitz, *Oltre il senso del luogo. L'impatto dei media elettronici nel comportamento sociale*, Bologna, Baskerville 1993



Nel corso delle lezioni saranno forniti materiali in fotocopia e indicazioni di estratti da altri volumi la cui conoscenza è essenziale per la preparazione all'esame (ca. 250pp), nonché un elenco dei saggi entro il quale il candidato sceglierà un secondo volume da presentare all'esame.

## Esame

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale.

## **01CJR    SOCIOLOGIA DELLE COMUNICAZIONI DI MASSA B**

Periodo:	2
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Chiara OTTAVIANO</b>

---

### ***Presentazione del corso***

Il corso è da intendersi come un approfondimento del modulo I.

Al centro dell'attenzione saranno i mezzi di comunicazione di massa, e in particolare la radio, il cinema e la televisione, "agenti di socializzazione" fra i più significativi nella società contemporanea.

L'attenzione sarà rivolta alla tradizione degli studi sociologici sul tema, ma anche agli aspetti relativi al carattere industriale e agli aspetti del broadcasting, alle professioni coinvolte, agli aspetti legislativi.

Specifiche esercitazioni saranno dedicate all'analisi del linguaggio audiovisivo con esempi tratti da fonti d'archivio come i cinegiornali, e da fonti coeve, come i telegiornali.

### ***Prerequisiti***

Aver superato l'esame del Modulo di Sociologia delle comunicazioni di massa A

### ***Programma***

La comunicazione di massa: definizioni e quadro teorico

Cinema e televisione: la riflessione del pensiero sociologico, tesi a confronto.

Il cinema e la televisione: industria, apparati e legislazione nel caso italiano

Il linguaggio audiovisivo: esercizi con il televisore

Sono previste esercitazioni, con specifica attività di ricerca degli studenti, volte ad una riflessione originale e documentata su Internet.

### ***Bibliografia***

C.Ottaviano, Mezzi per comunicare. Storia, società e affari dal telegrafo al modem, Torino, Paravia, 1997

J. Meyrowitz, Oltre il senso del luogo. L'impatto dei media elettronici nel comportamento sociale, Bologna, Baskerville 1993

Nel corso delle lezioni saranno forniti materiali in fotocopia e indicazioni di estratti da altri volumi la cui conoscenza è essenziale per la preparazione all'esame (ca. 250pp), nonché un elenco dei saggi entro il quale il candidato sceglierà un secondo volume da presentare all'esame.

### ***Esame***

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale.

## 01DAS STORIA CONTEMPORANEA A

Periodo:	4
Crediti:	3
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Gian Carlo JOCTEAU

---

### **Presentazione del corso**

Il corso intende fornire agli studenti alcune categorie interpretative generali ed elementi di inquadramento cronologico intorno alle principali trasformazioni economiche, sociali e politiche avvenute dalla seconda metà del Settecento ai giorni nostri.

### **Programma**

La storia contemporanea e le sue periodizzazioni.

Lo sviluppo economico moderno.

Il progresso tecnico.

La rivoluzione industriale inglese e le vie di trasmissione dell'industrializzazione.

Le vie nazionali all'industrializzazione.

La crisi delle società di ancien régime.

L'andamento demografico.

Classi, ceti e gruppi sociali.

Lo stato moderno.

Gli stati liberali.

Democrazia, socialismo e totalitarismo.

Gli equilibri geopolitici ed i loro mutamenti.

### **Bibliografia**

P. Macry, *La società contemporanea. Un'introduzione storica*, Il Mulino, Bologna, 1995

S. Pollard, *La conquista pacifica. L'industrializzazione in Europa dal 1760 al 1970*, Il Mulino, Bologna, 1989.

### **Esame**

La valutazione finale si baserà su una relazione scritta e su una prova orale.

## 01DAT STORIA CONTEMPORANEA B

Periodo:	4
Crediti:	2
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Gian Carlo JOCTEAU

---

### **Presentazione del corso**

Il corso intende fornire agli studenti alcune categorie interpretative generali ed elementi di inquadramento cronologico intorno alle principali trasformazioni economiche, sociali e politiche avvenute dalla seconda metà del Settecento ai giorni nostri.

### **Programma**

Approfondimenti del Modulo A; in particolare su:

Nazione e nazionalismo

Persistenza ai mutamenti nell'Europa fra Otto e Novecento

Lo sviluppo economico italiano

### **Bibliografia**

F. Tuccari, *La nazione*, Laterza, Bari, 2000

C. Geertz, *Mondo globale, mondi locali*, Il Mulino, Bologna, 1999

A.J.Mayer, *Il potere dell'ancien régime fino alla prima guerra mondiale*, Roma-Bari, Laterza, 1982

I.Cafagna, *Dualismo e sviluppo nella storia d'Italia*, Marsilio, Venezia, 1989

G.Tomolo, *Storia economica dell'Italia liberale, 1850-1918*. Il Mulino, Bologna, 1988.

### **Esame**

La valutazione finale si baserà su una relazione scritta e su una prova orale.

# 01DAX STORIA DELL'INNOVAZIONE (L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA PRIMA E DOPO LA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE)

Periodo:	4
Crediti:	3
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Luisa DOLZA

---

## **Presentazione del corso**

Il corso intende fornire agli studenti una riflessione sul concetto di innovazione tecnologica in una prospettiva storica. A tal fine il corso prende l'avvio da alcune fondamentali premesse metodologiche e dal significato storico, economico e sociale della parola stessa: innovazione. Le valenze economiche e morali, i segni e i metodi di riconoscimento dell'innovazione si sono modificati nel corso dei secoli. Dal mondo antico al Rinascimento l'innovazione non è solo cambiamento, e sul significato di "nuovo" e "utile" si soffermano tecnologi, scienziati, studiosi e politici anche prima della rivoluzione industriale. Da questo momento chiave per la storia della tecnica e dell'innovazione, cambierà l'ampiezza e l'importanza del dibattito, ma i temi rimarranno pressoché invariati. Il corso, articolato su alcuni momenti fondamentali o altamente significativi per l'innovazione tecnologica, prende in esame in parallelo i momenti della storia dell'economia e del pensiero scientifico che hanno modificato o arricchito il significato di innovazione.

## **Programma**

La storia dell'innovazione tecnologica nel mondo moderno e contemporaneo:

- Presentazione del corso: introduzione metodologica e presentazione dei testi di riferimento.
- Il concetto di innovazione: lessico, storia ed economia.
- L'innovazione del Rinascimento: da Leonardo da Vinci agli ingegneri del Cinquecento.
- Il Seicento e l'innovazione: l'importanza dei gesuiti e le grandi opere idrauliche.
- I bisogni delle corti e l'innovazione nelle prime accademie tecnico-scientifiche: gli accademici meccanici e i privilegi reali.
- Lettura e commento di qualche testo particolarmente significativo ed emblematico. Cfr. Alcuni manoscritti di Leonardo, la prefazione del Teatro degli strumenti meccanici e matematici di Jacques Besson, alcuni passi del Trattato dell'ingegno di Tesio, le voci in-genio-engine-innovazione nei più importanti dizionari del Cinquecento e Seicento europeo.
- Il ruolo dell'innovazione nella rivoluzione industriale inglese: la relazione scienza-tecnica.
- Politica e proto-industria nel Piemonte preunitario: i privilegi reali, l'Accademia delle Scienze di Torino, Camillo Cavour e Carlo Ignazio Giulio.
- L'innovazione messa in mostra: le grandi esposizioni dell'Ottocento.
- I grandi innovatori dell'Ottocento e del Novecento e i brevetti: il caso americano.
- L'innovazione e la guerra: le fabbriche, le donne e la ricerca tecnologica nelle due guerre mondiali.

- L'innovazione e la religione: il rapporto con le religioni monoteiste dal rinascimento ad oggi.
- Le innovazioni fallite: alcuni casi di innovazioni mancate.
- Innovazione ed industria nel dopoguerra italiano.
- Lettura e commento di testi emblematici per le tematiche affrontate nella seconda parte del corso come, a titolo di esempio, alcuni passi delle opere di Schumpeter, qualche pratica di privilegio dell'ottocento e il Capitale di Marx.

## **Bibliografia**

I testi di base:

C.M. Cipolla, Uomini, tecniche, economie, (Feltrinelli), Milano 1998.

V. Marchis, Storia delle macchine, (ed. Laterza), Roma-Bari 1994.

V. Marchis (a cura di), Storia delle scienze. Vol.v (Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico), (Einaudi), Torino 1995.

N. Rosenberg, Dentro la scatola nera, (Il mulino), Bologna 1991.

Per ogni singola tematica saranno indicati, all'inizio del corso, una serie di riferimenti bibliografici specifici.

## **Esame**

Per sostenere l'esame è richiesta la presentazione di una relazione scritta sull'approfondimento scelto in accordo con il docente. Detta relazione sarà discussa in sede di accertamento nell'esame orale finale.

# 01DAU STORIA DELLA FILOSOFIA CONTEMPORANEA A

Periodo: 4  
Crediti: 3  
Precedenze obbligatorie:  
Docente:

Alberta REBAGLIA

## **Presentazione del corso**

Il corso intende offrire un panorama quanto più possibile articolato del susseguirsi delle idee che -come presupposti o come conseguenze dirette- risultano essere alla base dello sviluppo tecnologico e scientifico, che ha fortemente improntato il Novecento. I caratteri dell'impresa scientifica contemporanea, tanto nei suoi aspetti 'teorici' (di elaborazione di ipotesi fisiche e di modelli matematici) quanto in quelli 'pratici' (di sperimentazione e di ricerca di laboratorio), sono strettamente connessi ai destini dell'industrializzazione e in generale delle applicazioni di tipo tecnologico. Nel corso verrà posto in evidenza come sia i processi di fabbricazione manifatturiera sia gli attuali sistemi di produzione integrati e globali non sono l'esito di un semplice accumularsi di saperi tecnici. Verrà sottolineato come queste stesse conoscenze di base sono il risultato dell'intrecciarsi e dello stratificarsi di sollecitazioni provenienti da un più vasto ambito di suggestioni e di influenze complessivamente culturali. Colui che svolge un'attività scientifica o tecnologica deve infatti essere pienamente consapevole di operare all'interno di tale sistema dinamico, in un orizzonte collettivo in cui strategie e finalizzazioni dei programmi di ricerca e dei piani di innovazione sono significativamente correlati, e danno luogo a sviluppi coordinati e congruenti, proprio (e soprattutto) in quanto sono collocati all'interno di un tessuto organico di idee, concetti, ragioni che nel loro insieme rappresentano il "clima" culturale di ogni specifica epoca storica.

## **Programma**

Nel corso verranno trattati i seguenti argomenti:

- L'idea di ragione e la nascita della scienza moderna
- L'idea di progresso e il passaggio dall'ambito della tecnica a quello della tecnologia
- L'osservazione empirica nell'epoca dei laboratori scientifici e della ricerca industriale
- Possibilità e limiti della tecnoscienza come impresa collettiva.

Sono previsti alcuni seminari di approfondimento.

## **Bibliografia**

G. Vattimo, *Tecnica ed esistenza. Una mappa filosofica del Novecento*, Paravia Scriptorium, Torino 1997

A. Rebaglia, *Scienza e verità. Introduzione all'epistemologia del Novecento*, Paravia Scriptorium, Torino 1997

Ulteriore materiale didattico verrà fornito in occasione dei seminari.

## **Esame**

È richiesta una relazione scritta su uno a scelta fra gli autori trattati nei seminari. L'esame orale verterà sulla discussione della relazione, inserita nel contesto del programma svolto.

## 01DAV STORIA DELLA FILOSOFIA CONTEMPORANEA B

Periodo:	4
Crediti:	2
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Alberta REBAGLIA

---

### **Presentazione del corso**

Nel corso verranno analizzate le tematiche che si sono sviluppate intorno all'idea centrale di artefatto, avendo quale obiettivo il chiarimento delle profonde trasformazioni subite nell'ambito del pensiero del Novecento da tale concetto, e da quelli a esso correlati di agire, intervenire, inventare. Il rapporto tra 'prodotto artificiale' e 'fatto naturale' ha subito cambiamenti rilevanti; e altrettanto radicalmente modificato risulta essere il nesso tra artefice e oggetto del suo lavoro. Questi mutamenti saranno seguiti a partire da quanto esposto nel modulo A circa l'impostazione concettuale che è alla base della pratica artigianale e dello svolgersi dell'indagine scientifica (entrambe premesse indispensabili all'evoluzione tecnologica e industriale). Si esamineranno, quindi, le molte e significative implicazioni derivanti dai processi di produzione di serie, caratteristici della fase di industrializzazione che ha segnato l'inizio del secolo, e dal successivo sviluppo dell'automazione e degli odierni sistemi di produzione integrati, nei quali l'informatizzazione assume un ruolo sempre più pervasivo che conduce all'affermarsi delle discipline "meccatroniche".

In quest'ultimo contesto -dove si assiste a una crescente "virtualizzazione" dei processi di apprendimento, di progettazione, di produzione, con una conseguente "smaterializzazione" dei beni e dei servizi- l'imporsi dell'inedita categoria del virtuale sarà valutata con attenzione particolare, poiché essa eredita l'idea tradizionale di "artificiale" e la trasforma profondamente, ampliandone i confini all'ambito di una nuova concezione della "realtà": non più sostanziale, ma ricca di una concretezza nuova, dinamica, flessibile.

### **Programma**

Nel corso verranno trattati i seguenti argomenti:

- Il concetto di artificiale nella civiltà industriale novecentesca
- La rivoluzione cibernetica e il suo impatto culturale
- Il concetto di virtuale nella odierna civiltà dell'informazione.

Sono previsti alcuni seminari di approfondimento.

### **Bibliografia**

A. Rebaglia, *Artificiale e virtuale. Tematiche di filosofia della tecnologia*, Paravia Scriptorium, Torino, in preparazione.

Ulteriore materiale didattico verrà fornito in occasione dei seminari.

### **Esame**

È richiesta una relazione scritta su uno a scelta fra gli autori trattati nei seminari. L'esame orale verterà sulla discussione della relazione, inserita nel contesto del programma svolto.



# 01CLW STORIA DELLA TECNICA A (SOCIETÀ, ECONOMIA, SCIENZA)

Periodo:	1
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	Vittorio MARCHIS

---

## **Presentazione del corso**

Il corso vuole fornire agli studenti la capacità di inquadrare gli oggetti e i sistemi tecnici nella loro prospettiva storica. A tal fine il corso prende l'avvio da alcune fondamentali premesse sul concetto di storia, sul ruolo e sulle finalità della ricerca storica, e specificamente sul significato della storia della tecnologia. In parallelo sono presi in esame i momenti salienti della storia dell'economia e del pensiero scientifico.

Il corso è armonizzato con quello di Storia della tecnica B (UM028) che può essere considerato, ancorché non esclusivamente, come il suo seguito. Non è richiesto alcun corso propedeutico.

## **Programma**

La storia della tecnica nel mondo moderno e contemporaneo:

- La storia come scienza. Le scritture come fondamento della storia: il documento. La ricerca storica. I temi e le idee della storia. Cronologia e storia. La storia e "le storie". La rivoluzione agricola e la rivoluzione industriale.
- La "scienza nuova" e il passaggio "dal mondo del pressappoco all'universo della precisione" (A.Koyré). La nascita della metallurgia nel '500; la "meccanica" da Guidobaldo del Monte a Galilei a Newton; la nascita delle Accademie e delle istituzioni scientifiche. Il macchinismo e il mito del progresso. Il Settecento e la coscienza della tecnologia. L'Illuminismo e le Enciclopedie.
- La Rivoluzione industriale. L'industria dei metalli e gli arsenali. Il vapore. L'istruzione tecnica. L'Ottocento e il trionfo delle macchine.
- La grande industria: Il macchinismo e la diffusione del sistema di fabbrica: Inghilterra, Francia, Germania, Italia. La nascita dell'elettricità. I sistemi tecnici: il telegrafo; le ferrovie; l'industria chimica. I politecnici e le scuole di ingegneria. La diffusione del sapere tecnico: le Esposizioni industriali; i brevetti. L'ottimismo "fin-de-siècle". Le crisi e le speranze del XX secolo. Le costruzioni in ferro e in cemento armato.
- I contesti economici nella società industriale. Le interpretazioni dei fenomeni economici. (A.Smith, D.Ricardo, K.Marx, J.Schumpeter, J.M.Keynes, G.Friedman, N.Rosenberg).
- La macchina tra utopie e realtà. Le utopie tecnologiche, l'idea di progresso e lo sviluppo della società industriale.

Modalità di svolgimento delle lezioni:

Il corso è svolto durante il primo semestre e prevede una frequenza settimanale di sei ore di lezione. A fianco delle lezioni istituzionali sono previsti seminari di approfondimento e conferenze tenute da esperti.

## **Laboratori e/o esercitazioni**

Durante il corso, gli studenti affronteranno la lettura critica di un saggio scelto da un elenco di titoli proposti dal docente. Su tale lettura e sui suoi approfondimenti verterà la relazione scritta che dovrà essere preparata per la valutazione finale.

## **Bibliografia**

G. Anders, L'uomo è antiquato. La terza rivoluzione industriale, (Bollati Boringhieri), Torino 1992.

C.M. Cipolla, Uomini, tecniche, economie, (Feltrinelli), Milano 1998.

V. Marchis, Storia delle macchine, (Ed. Laterza), Roma-Bari 1994.

V. Marchis (a cura di), Storia delle scienze. vol.V (Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico), (Einaudi), Torino 1995.

M. Nacci, La crisi del progresso. Saggio di storia delle idee 1895-1935, (Guerini e Associati), Milano 1994.

## **Esame**

Per sostenere l'esame è richiesta la presentazione di una relazione scritta sull'approfondimento scelto in accordo con il docente. Detta relazione sarà discussa in sede di accertamento nell'esame orale finale.

# **01CLX    STORIA DELLA TECNICA B (L'ETÀ DELLA TECNICA: IL XX SECOLO E LO SPAZIO)**

Periodo:	2
Crediti:	5
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Vittorio MARCHIS</b>

---

## ***Presentazione del corso***

Il corso vuole fornire agli studenti gli strumenti dell'indagine storica per inquadrare gli sviluppi della tecnologia e dell'industria nel XX secolo, in relazione ai contesti socio-culturali in cui hanno subito la loro evoluzione.

Il corso, è composto da una prima serie di lezioni sui criteri interpretativi e valutativi dei fenomeni specifici dello sviluppo tecnologico e industriale del XX secolo a cui segue un approfondimento monografico su un particolare settore. Per l'anno accademico in corso viene presa in esame la scienza e l'industria aerospaziale dal 1930 sino al 1970.

Il corso è armonizzato con quello di Storia della tecnica A (UM027) che può essere considerato, ancorché non esclusivamente, la sua premessa generale. Non è richiesto alcun corso propedeutico.

## ***Programma***

- Gli scenari del XX secolo: La nascita dell'aeronautica. Il sistema industriale e il modello tayloristico. I grandi sistemi tecnici: elettricità, telecomunicazioni, trasporti. I limiti dello sviluppo. Le rivoluzioni informatiche. La Big Science e i Large Systems.
- La storia della tecnica. Una storia di contesti socioeconomici.
- La storia della scienza e la storia del pensiero scientifico. I grandi temi del pensiero scientifico moderno in relazione alla società industriale contemporanea. La società dell'informazione.
- Le origini dell'industria missilistica.
- L'industria bellica e l'armamento missilistico nel secondo conflitto mondiale.
- La corsa USA-URSS allo spazio.
- La conquista della Luna.
- I nuovi contesti aerospaziali europei.

Modalità di svolgimento delle lezioni:

Il corso è svolto durante il secondo semestre e prevede una frequenza settimanale di sei ore di lezione. A fianco delle lezioni istituzionali sono previsti seminari di approfondimento e conferenze tenute da esperti.

## ***Laboratori e/o esercitazioni***

Durante il corso, gli studenti affronteranno la lettura critica di un saggio scelto da un elenco di titoli proposti dal docente. Su tale lettura e sui suoi approfondimenti verterà la relazione scritta che dovrà essere preparata per la valutazione finale.

## ***Bibliografia***

J. R. Beniger, *Le origini della società dell'informazione. La rivoluzione del controllo.*, (Utet Libreria), Torino 1995

- A.D. Chandler jr., Dimensione e diversificazione. Le dinamiche del capitalismo industriale, (Il Mulino), Bologna 1994.
- D. Harvey, La crisi della modernità, (Il Saggiatore), Milano 1993.
- V. Marchis, Wernher von Braun, (Le Scienze), Milano 2000.
- V. Marchis (a cura di), Storia delle scienze. vol.V (Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico), (Einaudi), Torino 1995.
- M. McLuhan, Gli strumenti del comunicare, (Il Saggiatore), Milano 1997.
- M. Nacci, La crisi del progresso. Saggio di storia delle idee 1895-1935, (Guerini e Associati), Milano 1994.
- D. Noble, La questione tecnologica, (Bollati Boringhieri), Torino 1993.
- N. Rosenberg, Dentro la scatola nera, (Il Mulino), Bologna 1991.

## Esame

Per sostenere l'esame è richiesta la presentazione di una relazione scritta sull'approfondimento scelto in accordo con il docente. Detta relazione sarà discussa in sede di accertamento nell'esame orale finale.

## 01DAZ    **TECNICHE DI SCRITTURA**

Periodo:	4
Crediti:	3
Precedenze obbligatorie:	
Docente:	<b>Marina BELTRAMO</b>

---

### **Presentazione del corso**

Negli ultimi anni la scrittura ha assunto una nuova centralità nell'ambito della comunicazione sia personale sia professionale. La quantità di testi scritti che ognuno di noi deve leggere e produrre è notevolmente aumentata (si pensi ad esempio alla diffusione della posta elettronica), e sono aumentate le aspettative circa la qualità del prodotto scritto. Lo scrivere bene non è più prerogativa esclusiva di quei letterati che sanno maneggiare una lingua alta impiegando sottili artifici retorici: con l'espressione scrivere bene oggi si intende piuttosto l'abilità di comunicare i concetti in modo efficace, chiaro e accurato, producendo il tipo di testo che meglio si adatta alla situazione comunicativa. Scrivere, e scrivere bene, è un'abilità richiesta pressoché a tutti: ci si aspetta la produzione di buoni documenti scritti da chiunque svolga una professione all'interno di una struttura organizzativa anche molto semplice, o sia impegnato in compiti che implicano attività di progetto, comunicazione di dati, notizie, risultati.

Questo corso si propone di avvicinare gli studenti alla scrittura, in particolare a quella tecnico-scientifica, offrendo loro gli strumenti teorici e pratici per familiarizzare con un mezzo di comunicazione spesso sottovalutato e spesso origine di dubbi e difficoltà. Saranno presentati principi, tecniche, procedure e strumenti per ottenere un buon testo scritto che esibisca quegli aspetti di organizzazione concettuale e di accuratezza formale per i quali si possa parlare di prodotto professionale.

### **Programma**

La comunicazione

- Modelli
- Applicazioni
- La comunicazione orale e la comunicazione scritta

I testi

- Che cosa fa di un insieme di parole un testo?
- Tipi e generi testuali
- Testi con vincoli

Il testo come processo

- Pianificazione
- Stesura
- Revisione

I testi tecnico-scientifici: principi di technical writing

- Aspetti di pianificazione
- La situazione comunicativa
- Scalette standard
- Aspetti linguistici
- I linguaggi settoriali
- Strutture sintattiche
- Elementi di coesione

- Convenzioni
- Uso delle risorse tipografiche
- Simboli
- Illustrazioni.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Il corso prevede esercitazioni con l'impiego di strumenti informatici.

### **Bibliografia**

A inizio corso saranno disponibili delle dispense che costituiranno il testo di riferimento principale. Eventuali integrazioni saranno indicate durante il corso e rese disponibili in forma di fotocopia.

### **Esame**

L'esame è costituito da un test sui contenuti affrontati durante il corso e da una relazione scritta.

Durante il corso, gli studenti possono sostenere alcune prove brevi, nelle quali sono chiamati ad applicare quanto discusso a lezione. Il superamento di queste sostituisce la relazione scritta conclusiva.