

Guide ai corsi di laurea

**Politecnico di Torino 1993/94**



**Ingegneria aeronautica**

Le Guide sono predisposte sulla base dei testi forniti dai Consigli di corso di laurea.

*Corso di laurea*

Ingegneria civile

Ingegneria edile

Ingegneria aeronautica

Ingegneria chimica

Ingegneria dei materiali

Ingegneria elettrica

Ingegneria meccanica

Ingegneria nucleare

Ingegneria delle telecomunicazioni

Ingegneria elettronica

Ingegneria informatica

Ingegneria gestionale

Ingegneria per l'ambiente e il territorio

*Presidente – Coordinatore*

Prof. Cesare Castiglia

Prof. Gian Paolo Scarzella

Prof. Giuseppe Bussi

Prof. Vito Specchia

Prof. Aurelio Burdese

Prof. Mario Lazzari

Prof. Gustavo Belforte

Prof. Evasio Lavagno

Prof. Mario Pent

Prof. Carlo Naldi

Prof. Paolo Prinetto

Prof. Sergio Rossetto

Prof. Sebastiano Pelizza

Edito a cura del CIDEM  
Centro Interdipartimentale di  
Documentazione e Museo del  
Politecnico di Torino

Corso Duca degli Abruzzi 24 – 10129 Torino  
Tel. 011.564'6601 – Fax 011.564'6609

Stampato nel mese di luglio 1993 dalla Tipolitografia AGAT  
Via San G.B. Cottolengo 19 – 10152 Torino

## Indice

- 5 Ingegneria aeronautica : presentazione
- 11 Ingegneria aerospaziale : presentazione
- 13 Programmi degli insegnamenti
- 61 Indice alfabetico degli insegnamenti
- 63 Indice alfabetico dei docenti

**Le Guide ai corsi di laurea in ingegneria.** Scopo fondamentale dei presenti opuscoli è quello di orientare gli studenti nella scelta dei piani di studio. In un momento particolarmente arduo di riforma e di scelte di sviluppo dell'assetto universitario, gli studenti devono poter decidere con il massimo della chiarezza, per potersi adeguare alle innovazioni, ed eventualmente anno per anno farsi ragione e modificare le scelte a seguito delle più specifiche verifiche attitudinali.

Nel 1993/94 sono attivati a Torino tredici *corsi di laurea*, in ingegneria

civile (D)	edile (G)	
chimica (C)	dei materiali (E)	nucleare (Q)
aeronautica (B)	meccanica (P)	elettrica (H)
elettronica (L)	informatica (N)	delle telecomunicazioni (F)
gestionale (M)	per l'ambiente e il territorio (R)	

Per permettere l'approfondimento di competenze metodologiche e di tecniche progettuali realizzative e di gestione in particolari campi, i corsi di laurea possono essere articolati in indirizzi ed orientamenti. Dell'*indirizzo* eventualmente seguito viene fatta menzione nel certificato di laurea, mentre gli *orientamenti* corrispondono a differenziazioni culturali, di cui invece non si fa menzione nel certificato di laurea; gli orientamenti vengono definiti annualmente dai competenti *Consigli dei corsi di laurea*, e ne viene data informazione ufficiale mediante il *Manifesto degli studi*. Nelle pagine di queste *Guide*, di ciascun corso di laurea viene data una breve descrizione, e viene illustrato il programma di attuazione degli orientamenti previsti per ogni indirizzo.

**Gli insegnamenti.** Il nuovo ordinamento didattico<sup>1</sup> prevede diversi tipi di insegnamenti, distinti in monodisciplinari, monodisciplinari a durata ridotta (nel seguito indicati come corsi ridotti), e integrati. Un *insegnamento monodisciplinare* è costituito da 80-120 ore di attività didattiche (lezioni, esercitazioni, laboratori, seminari ecc.) e corrisponde ad una unità didattica o annualità. Un *corso ridotto* è costituito da 40-50 ore di attività didattiche e corrisponde a mezza annualità. Un corso integrato è costituito da 80-120 ore di attività didattiche e corrisponde ad una annualità; esso è svolto - in moduli coordinati di almeno 20 ore ciascuno - da due o, al massimo, tre professori che fanno tutti parte della commissione d'esame.

<sup>1</sup> Decreto rettorale 1096 del 1989-10-31, pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 45 del 1990-02-23.

Ogni corso di laurea corrisponde a 29 annualità complessive, ripartite, in ognuno dei cinque anni di corso, su due *periodi didattici* (detti anche impropriamente semestri); ogni periodo didattico è di durata pari ad almeno 13 settimane effettive di attività. Un'altra novità introdotta dal DPR 20 maggio 1989<sup>1</sup> è costituita dal fatto che non sono prescritti specifici insegnamenti (almeno a livello nazionale) per il conseguimento della laurea in un determinato corso di laurea in Ingegneria, ma sono prescritti i numeri minimi di unità didattiche da scegliere in determinati raggruppamenti disciplinari consistenti in *gruppi*<sup>2</sup> di discipline affini. Lo stesso nuovo Statuto stabilisce l'articolazione dei vari corsi di laurea in termini di *gruppi* e di *unità didattiche*, cosicché ogni Consiglio di corso di laurea può più facilmente adeguare annualmente il piano degli studi alle nuove esigenze richieste dal rapido evolversi delle conoscenze e degli sviluppi tecnologici. Perciò ogni anno i vari Consigli dei corsi di laurea stabiliscono gli insegnamenti ufficiali, obbligatori e non obbligatori, che costituiscono le singole annualità, e le norme per l'inserimento degli insegnamenti non obbligatori, eventualmente organizzati in orientamenti.

Tutte queste informazioni e norme vengono pubblicate ogni anno nel Manifesto degli Studi (v. *Guida dello studente*, pubblicata a cura della Segreteria studenti).

**Finalità e organizzazione didattica dei vari corsi di laurea.** Le pagine di queste *Guide* illustrano per ognuno dei corsi di laurea attivati – ed eventualmente per ognuno dei rispettivi indirizzi attivati – le professionalità acquisibili dai laureati, nonché il concetto ispiratore dell'organizzazione didattica, fornendo tracce schematiche di articolazione delle discipline obbligatorie ed esemplificazioni relative ai corsi facoltativi, organicamente inquadrabili nei vari curricula accademici.

Ogni corso di laurea (tranne rarissime eccezioni) ha previsto in prima attuazione l'organizzazione di tutti i corsi in periodi didattici. Per quanto concerne l'organizzazione didattica e l'attribuzione dei docenti agli insegnamenti, si segnala ancora che:

- alcuni corsi di laurea introducono già al terzo anno una scelta di corsi di indirizzo o di orientamento, che richiedono la formulazione di un'opzione fra le scelte segnalate: tali opzioni vanno esercitate all'atto dell'iscrizione;
- in relazione a talune difficoltà, che possono verificarsi all'atto dell'accorpamento di taluni CL per le discipline di carattere propedeutico (del primo e secondo anno), non è assicurata che la corrispondenza dei docenti indicati con gli effettivi titolari di dette discipline. In alcuni casi, non essendo noto al momento della stampa delle *Guide*, il nome del docente è stato lasciato indeterminato ("Docente da nominare").

<sup>1</sup> Pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 186 del 1989-08-10.

<sup>2</sup> Questi *gruppi* coincidono con quelli dei raggruppamenti concorsuali per i professori universitari.

Corso di laurea in

# Ingegneria aeronautica

## 1. Profilo professionale

L'ingegneria aeronautica approfondisce con tutti i mezzi teorici e sperimentali la conoscenza dei fenomeni fisici che sono coinvolti nel funzionamento e nel comportamento degli aeromobili nel loro complesso e dei loro componenti, e si preoccupa di acquisire la capacità di realizzare le macchine stesse. In particolare si occupa di componenti e di aspetti che non trovano riscontro in altri rami dell'ingegneria e di componenti e aspetti che, pur essendo presenti in altri rami, acquistano in aeronautica caratteristiche particolari. Per i componenti e le tecnologie che hanno grande diffusione anche in altri rami dell'ingegneria o che addirittura ne costituiscono l'oggetto principale, l'aeronautica studia la loro integrazione nei sottosistemi e nei sistemi. Costituiscono inoltre argomenti di interesse gli aspetti economici di tutte le attività di realizzazione e gestione dei sistemi aeronautici.

I contenuti culturali dell'aeronautica, così come attualmente risulta dalla sua evoluzione, possono essere meglio sintetizzati premettendo che tutto ciò che entra a far parte di un aeromobile deve essere realizzato (ideato, progettato, costruito) nonché gestito in modo da ottenere minimi oneri (costi, peso e simili), garantendo sicurezza adeguata alle aspettative della collettività. Da una parte vengono stabilite normative opportune a difesa dell'integrità delle persone e dall'altra si soddisfano i dettami di tali normative.

Se anche l'apparato teorico sotteso all'ingegneria aeronautica non può, per estensione e per peculiarità, non riflettersi fortemente nel modo con cui di questa viene organizzato l'insegnamento, è tuttavia necessario che l'organizzazione e la sostanza degli studi mantengano sempre viva la comprensione del rapporto che intercorre fra i problemi reali e le analisi che, con l'aiuto di modelli fisici e matematici, se ne possono fare, offrendo anche una sintesi panoramica di quelle nozioni e conoscenze che costituiscono il risultato dell'attività pratica e che caratterizzano la "professionalità".

Pertanto gli obiettivi culturali che il corso di laurea in Ingegneria aeronautica si propone di conseguire e le professionalità che intende fornire sono in stretta relazione al duplice fine di creare una figura dotata di una mentalità tecnico-scientifica matura per affrontare attivamente i problemi che lo sviluppo di nuovi prodotti aeronautici pone, e, nel contempo, qualificata allo svolgimento delle attività richieste in ambito industriale e in ambiti affini, mediante una conoscenza di base delle problematiche peculiari della tecnica aeronautica e delle sue linee di sviluppo.

I possibili sbocchi per i laureati in Ingegneria aeronautica sono sostanzialmente presso aziende costruttrici di aeromobili o di componenti, aziende o compagnie di gestione e servizi, enti di controllo, università e istituti di ricerca.

Per quanto riguarda le necessità delle ditte costruttrici, è importante osservare come, nell'ambito dell'ingegneria aeronautica, l'attività di progettazione rappresenti, a differenza della maggior parte delle specializzazioni, lo sbocco professionale di gran lunga più diffuso. Questo fatto deriva dalla caratteristica del prodotto aeronautico (caratteristica che ovviamente si riflette sulle aziende generatrici di tale prodotto) di essere di

elevata complessità tecnologica e impegno finanziario, e quindi di complessa e approfondita progettazione, e, contemporaneamente, di essere prodotto in serie numericamente limitate.

Ne consegue un massiccio impiego di ingegneri aeronautici in attività di progettazione anche di livello concettuale non elevatissimo, ancorché essenziali per la realizzazione del prodotto, quali l'impiego di modelli in programmi di calcolo e l'analisi e l'elaborazione dei dati sperimentali o di calcolo. (Una prevedibile ottimizzazione di risorse intellettuali e umane sarà quindi data dall'impiego, anche in contesto progettuale, come nelle attività ora accennate, delle future figure professionali quali "ingegneri di primo livello" o "ingegneri diplomati", se e quando tale livello verrà istituito).

In generale l'attività di progettazione aeronautica richiede una base consolidata di conoscenza delle problematiche e delle linee di sviluppo della tecnica aeronautica e delle appropriate impostazioni dei problemi della sicurezza e affini. Inoltre, le funzioni di coloro a cui è richiesto il controllo più o meno esteso dei problemi del sistema velivolo e della pianificazione della attività produttiva, si caratterizzano anche per una marcata interdisciplinarietà.

Per operare nell'ambito degli enti di controllo si richiede una preparazione assai vicina a quella adatta per le aziende costruttrici, in quanto le due attività sono in continuo confronto dialettico.

Infine, si osserva che i modi di operare di un'azienda di "servizio aeronautico", quale una compagnia di navigazione, evidenziano, rispetto a quella delle ditte costruttrici, un'attenuazione degli aspetti progettativi e una maggiore attenzione verso gli aspetti gestionali ed organizzativi. Le aree interessate sono però coincidenti, anche perché solitamente le aziende di servizio effettuano direttamente operazioni di revisione ed altre del tutto analoghe ad operazioni effettuate in alcune fasi della costruzione. In particolare la conoscenza dei materiali e dei relativi mezzi (non distruttivi) di controllo è patrimonio comune ai due tipi di azienda.

## **2. Caratterizzazione del corso di laurea in Ingegneria aeronautica**

La definizione della figura professionale dell'ingegnere aeronautico, così come nasce dalle esigenze dei vari settori d'impiego, fa sì che il corso di laurea in Ingegneria aeronautica costituisca una delle articolazioni dell'ingegneria industriale, alla quale afferisce per le implicazioni professionali legate alle grandi aree tecnico-culturali, pur distaccandosene per la specificità delle competenze richieste e degli approcci metodologici, legati alla peculiarità del prodotto.

Il Corso di laurea si ispira sostanzialmente ad un duplice punto di vista nel presentare la complessa materia dell'ingegneria aeronautica: la progettazione, e la produzione e gestione del mezzo aereo, con riferimenti agli aspetti economico-energetici di tali punti.

Il *curriculum* degli studi, mirato a fornire un corpo di conoscenze teoriche, sperimentali, applicative e normative ritenute necessarie a formare le suddette cultura e figura professionale, si articola su 29 insegnamenti, ripartiti in 25 obbligatori e 4 di orientamento. Vengono dapprima forniti nel complesso i fondamentali matematici, fisici e metodologici necessari, e poi erogate le competenze tipiche del settore industriale, mediante corsi prevalentemente sviluppati al livello di preparazione generale e di individuazione dei principi fondamentali.

Il *curriculum* si caratterizza quindi nella complessa materia tipica dell'ingegneria aeronautica, comprendente corsi sviluppati e organizzati con l'intento di fornire su ciascuna delle aeree di interesse (correlate alle funzioni dell'ingegnere aeronautico), un livello culturale idoneo sia a costituire valida base per successivi arricchimenti specialistici nelle discipline di orientamento, sia a consolidare una formazione interdisciplinare atta a cogliere l'auspicabile visione d'insieme del sistema-velivolo. Il *curriculum* si chiude quindi sulle materie specialistiche degli orientamenti che il Corso di laurea propone sulla base delle funzioni e aree di attività precedentemente individuate. Gli orientamenti al momento proposti sono:

- *Aerogasdinamica*
- *Costruzione di motori*
- *Meccanica del volo*
- *Propulsione*
- *Sistemi*
- *Strutture*

### 3. Insegnamenti obbligatori

Le basi generali per la comprensione dei fenomeni fisici e chimici sono fornite in due corsi di *Fisica* e uno di *Chimica*. L'acquisizione dei necessari strumenti matematici di base è ottenuta mediante due corsi di *Analisi matematica* ed uno di *Geometria*. Ad essi si aggiunge un corso di *Meccanica razionale* che, sviluppando concetti ed utilizzando strumenti precedentemente acquisiti, avvia alle discipline applicative caratterizzanti gli studi di ingegneria. Inoltre il corso di *Fondamenti di informatica* introduce alle problematiche dei moderni sistemi per il calcolo, la gestione e la rappresentazione.

Otto annualità sono volte a fornire la cultura ingegneristica di base con riferimento:

- alla meccanica (*Meccanica applicata alle macchine*),
- al calcolo delle strutture (*Scienza delle costruzioni*)
- al calcolo di componenti di macchine (*Costruzione di macchine*),
- alla termodinamica e allo scambio termico (*Fisica tecnica*),
- all'elettrotecnica (*Elettrotecnica*),
- all'elettronica (*Elettronica applicata*),
- alle tecniche di rappresentazione (*Disegno tecnico industriale*),
- alla gestione dell'impresa (*Economia ed organizzazione aziendale*).

L'obiettivo di fornire una preparazione professionale ugualmente approfondita nei diversi settori di studio che concorrono alla realizzazione del prodotto aeronautico, ha richiesto:

- due insegnamenti (*Macchine e Motori per aeromobili*) per le nozioni sui componenti e le prestazioni dei propulsori,
- due insegnamenti (*Aerodinamica e Gasdinamica*) per i principali metodi di studio della meccanica dei fluidi,
- un insegnamento (*Meccanica del volo*) per le prestazioni e le caratteristiche di volo degli aeromobili,
- due insegnamenti (*Costruzioni aeronautiche e Progetto di aeromobili*) per la descrizione delle strutture ed i metodi di calcolo,
- due insegnamenti (*Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali e Tecnologie delle costruzioni aeronautiche*) per le tecnologie dei materiali e delle lavorazioni aeronautiche.

#### 4. Quadro didattico degli insegnamenti obbligatori

Il quadro presenta la successione temporale delle materie obbligatorie, nonché la posizione delle quattro materie di orientamento  $Y_1 - Y_4$ .

---

1:1 (1. anno, 1. periodo didattico)

B0231 : Analisi matematica 1

B0620 : Chimica

---

1:2 B2300 : Geometria

B1901 : Fisica 1

B1430 : Disegno tecnico industriale

---

2:1 B0232 : Analisi matematica 2

B1902 : Fisica 2

B2170 : Fondamenti di informatica

---

2:2 B3370 : Meccanica razionale

B1790 : Elettrotecnica

B4620 : Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali

---

3:1 B0050 : Aerodinamica

B2060 : Fisica tecnica

B4600 : Scienza delle costruzioni

---

3:2 B1030 : Costruzioni aeronautiche

B3210 : Meccanica applicata alle macchine

$Y_1$

---

4:1 B1710 : Elettronica applicata

B3110 : Macchine

B3300 : Meccanica del volo

---

4:2 B0940 : Costruzione di macchine

B2220 : Gasdinamica

B5660 : Tecnologie delle costruzioni aeronautiche

---

5:1 B3830 : Motori per aeromobili

B4280 : Progetto di aeromobili

$Y_2$

---

5:2 B1530 : Economia ed organizzazione aziendale

$Y_3$

$Y_4$

---

## 5. Insegnamenti di orientamento

Ogni orientamento è costituito da quattro insegnamenti di estensione annuale distribuiti negli anni e nei periodi didattici come già indicato con le posizioni Y<sub>1</sub> - Y<sub>4</sub>. Per ogni posizione può aversi scelta tra più insegnamenti. L'attuale disponibilità di corsi permette di strutturare gli orientamenti come indicato nel quadro seguente.

---

### *Aerogasdinamica*

- Y<sub>1</sub> Insegnamento a scelta tra  
B0510 : Calcolo numerico e  
B3170 : Matematica applicata
- Y<sub>2</sub> B0052 : Aerodinamica 2
- Y<sub>3</sub> Insegnamento a scelta tra  
B2120 : Fluidodinamica delle turbomacchine e  
B2222 : Gasdinamica 2
- Y<sub>4</sub> Insegnamento a scelta tra  
B3960 : Principi di aeroelasticità e  
B0080 : Aerodinamica sperimentale
- 

### *Costruzioni di motori*

- Y<sub>1</sub> Insegnamento a scelta tra  
B0510 : Calcolo numerico e  
B3170 : Matematica applicata
- Y<sub>2</sub> B4200 : Progettazione e costruzione di macchine speciali
- Y<sub>3</sub> B5640 : Tecnologia meccanica
- Y<sub>4</sub> B0090 : Aeroelasticità applicata
- 

### *Meccanica del volo*

- Y<sub>1</sub> Insegnamento a scelta tra  
B0510 : Calcolo numerico e  
B5930 : Teoria matematica dei controlli
- Y<sub>2</sub> B1250 : Dinamica del volo
- Y<sub>3</sub> B3310 : Meccanica del volo dell'elicottero
- Y<sub>4</sub> Insegnamento a scelta tra  
B1260 : Dinamica del volo spaziale e  
B5100 : Sperimentazione di volo

---

### *Propulsione*

- Y<sub>1</sub> Insegnamento a scelta tra  
B0510 : Calcolo numerico e  
B5930 : Teoria matematica dei controlli
- Y<sub>2</sub> B4380 : Propulsione aerospaziale
- Y<sub>3</sub> B2120 : Fluidodinamica delle turbomacchine
- Y<sub>4</sub> B1800 : Endoreattori
- 

### *Sistemi*

- Y<sub>1</sub> Insegnamento a scelta tra  
B0510 : Calcolo numerico e  
B5930 : Teoria matematica dei controlli
- Y<sub>2</sub> B2570 : Impianti aeronautici
- Y<sub>3</sub> B4260 : Progetto dei sistemi aerospaziali
- Y<sub>4</sub> B5230 : Strumentazione aeronautica
- 

### *Strutture*

- Y<sub>1</sub> Insegnamento a scelta tra  
B3170 : Matematica applicata e  
B5930 : Teoria matematica dei controlli
- Y<sub>2</sub> B5330 : Strutture aeronautiche
- Y<sub>3</sub> B4190 : Progettazione di strutture aerospaziali
- Y<sub>4</sub> B1032 : Costruzioni aeronautiche 2
-

Corso di laurea in

# Ingegneria aerospaziale

Possono iscriversi al primo anno della *Scuola di ingegneria aerospaziale* coloro che abbiano già conseguito una laurea in Ingegneria. Coloro che hanno conseguito la laurea in *Ingegneria aeronautica* sono ammessi direttamente al secondo anno.

## Quadro didattico degli insegnamenti

### *Primo anno (comune ai due orientamenti)*

Gli allievi che avessero superato in precedenti corsi di laurea esami previsti al primo anno possono chiederne convalida.

#### 1:1 (1. anno, 1. periodo didattico)

- B0050 : Aerodinamica
- B3830 : Motori per aeromobili
- B4280 : Progetto di aeromobili
- B3300 : Meccanica del volo

#### 1:2

- B1030 : Costruzioni aeronautiche
- B2220 : Gasdinamica
- B5660 : Tecnologie delle costruzioni aeronautiche

### *Secondo anno*

Sei materie, a scelta tra quelle elencate per ciascun orientamento, purché non precedentemente superate. Per gli insegnamenti del secondo anno non è prevista la convalida di esami superati in precedenti corsi di laurea: l'allievo deve completare il piano di studio con insegnamenti dell'altro indirizzo se, dopo aver indicato tutti gli insegnamenti non precedentemente superati, non raggiungesse il numero di sei.

---

### *I orientamento*

#### 2:1

- B0052 : Aerodinamica 2
- B2140 : Fluidodinamica sperimentale
- B6100 : Fluidodinamica dei sistemi propulsivi
- B6110 : Propulsori astronautici

#### 2:2

- B1260 : Dinamica del volo spaziale
- R2090 : Fluidodinamica ambientale
- B2222 : Gasdinamica 2
- B3960 : Principi di aeroelasticità
- B5100 : Sperimentazione di volo

## II orientamento

- 2:1 B1710 : Elettronica applicata  
B2570 : Impianti aeronautici  
B4200 : Progettazione e costruzione di macchine speciali  
B5370 : Strutture spaziali
- 2:2 B0090 : Aeroelasticità applicata  
B1032 : Costruzioni aeronautiche 2  
B4190 : Progettazione di strutture aerospaziali  
B4260 : Progetto dei sistemi aerospaziali  
B5230 : Strumentazione aeronautica

**NOTA.** La sigla che contrassegna i corsi è indicativa, e corrisponde a corsi di *Ingegneria aeronautica* (B) e *Ingegneria ambientale* (R). In seguito, verranno attribuite sigle specifiche per la SIA. Per quanto riguarda i programmi dei singoli corsi, questi sono riportati (con le sigle sopra indicate) insieme a quelli del corso di laurea in *Ingegneria aeronautica*.

# Programmi degli insegnamenti

*I programmi sono riportati in ordine di anno e periodo didattico (a parità, in ordine alfabetico): a questa sezione seguono gli indici alfabetici generali, per titoli degli insegnamenti e per nomi dei docenti.*

*La presente Guida è andata in stampa il 1993-07-12, e quanto riportato è da ritenersi aggiornato a quella data. La ristrettezza dei tempi di edizione non ha permesso di sottoporre all'attenzione dei singoli docenti i testi che seguono: il CIDEM si scusa con docenti e studenti per eventuali sviste ed errori residui, assumendosene la responsabilità, e ringrazia anticipatamente coloro che vorranno segnalarli.*

## B 0231      **Analisi matematica 1**

Anno:periodo 1:1    Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 4

Prof. Claudio Canuto (Matematica)

Finalità del corso è fornire gli strumenti di base del calcolo differenziale ed integrale di una variabile, propedeutici ai corsi della Facoltà di ingegneria, utilizzando il linguaggio moderno della matematica ed insegnando come affrontare i problemi con rigore e spirito critico.

**REQUISITI.** Le nozioni fondamentali di algebra, di geometria, di trigonometria, secondo i programmi di scuola secondaria superiore.

### PROGRAMMA

Teoria degli insiemi.

Insiemi di numeri e loro proprietà (interi, razionali, reali).

Elementi di geometria analitica piana.

Limiti di funzioni di variabile reale.

Successioni.

Continuità e derivabilità.

Proprietà delle funzioni continue e delle funzioni derivabili in un intervallo.

Funzioni elementari.

Sviluppi di Taylor.

Integrali indefiniti.

Integrazione definita (secondo Riemann o secondo Cauchy).

Integrali impropri.

Equazioni differenziali del primo ordine (risoluzione di equazioni a variabili separabili, omogenee e lineari).

### BIBLIOGRAFIA

C. Pagani, S. Salsa, *Analisi matematica, vol. 1*, Masson Italia, 1992

integrato da dispense del docente.

## B 0620 Chimica

Anno: periodo 1:1 Impegno (ore): lezioni 85 esercitazioni 30 (settimanali 6/3)

Prof. Mario Vallino (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire le basi teoriche necessarie per la comprensione e l'interpretazione dei fenomeni chimici e di dare una breve rassegna delle proprietà degli elementi comuni e dei loro principali composti.

Esso si articola di conseguenza in tre parti: di chimica generale alla quale vengono dedicate circa 60 ore di lezione; una di chimica inorganica (circa 20 ore di lezione) ed una di chimica organica (5-10 ore di lezione).

**REQUISITI.** Per seguire con profitto il corso sono sufficienti le nozioni di base relative alle leggi generali della chimica, alla simbologia e alla nomenclatura.

### PROGRAMMA

#### *Chimica generale.*

Sistemi omogenei ed eterogenei. Concetto di fase, di composto, di elemento. Leggi fondamentali della chimica. Teoria atomico-molecolare. Legge di Avogadro. Determinazione dei pesi atomici e molecolari. Concetto di mole. Calcoli stechiometrici.

Sistema periodico degli elementi. Il modello atomico di Bohr. L'atomo secondo la meccanica quantistica. Interpretazione elettronica del sistema periodico. I raggi X.

Legame ionico, covalente, metallico. Legami intermolecolari. Grado di ossidazione.

Isotopia. Energia di legame dei nucleoni. Radioattività. Fenomeni di fissione e di fusione nucleare.

Leggi dei gas. Dissociazione termica. Teoria cinetica dei gas. Legge di Graham. Calore specifico dei gas.

Lo stato solido. Reticolo cristallino e cella elementare. Difetti reticolari. Soluzioni solide.

Lo stato liquido. Equazione di Clausius-Clapeyron. Tensione di vapore delle soluzioni. Crioscopia. Pressione osmotica.

Energia interna ed entalpia. Effetto termico delle reazioni. Entropia ed energia libera di reazione. Velocità di reazione. Catalisi. Legge dell'azione di massa. Principio dell'equilibrio mobile. Regola delle fasi. Diagrammi di stato a uno e due componenti.

Applicazione della legge delle fasi agli equilibri chimici eterogenei.

Soluzioni di elettroliti. Elettrolisi. Costante di ionizzazione. Prodotto ionico dell'acqua. Acidi e basi. *pH*. Idrolisi. Prodotto di solubilità. Soluzioni tampone. Potenziale d'elettrodo. Serie elettrochimica. Tensioni di decomposizione. Potenziali di ossido-riduzione.

#### *Chimica inorganica.*

Proprietà e metodi di preparazione industriale dei seguenti elementi e loro principali composti: idrogeno, ossigeno, sodio, rame, calcio, zinco, alluminio, carbonio, silicio, azoto, fosforo, cromo, uranio, zolfo, manganese, alogeni, ferro.

#### *Chimica organica.*

Cenni su idrocarburi saturi e insaturi e derivati alogenati; alcoli, aldeidi, chetoni, acidi organici, esteri, ammine, ammidi, nitrili; benzene e suoi omologhi, fenoli, nitroderivati, ammine aromatiche.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni sono dedicate all'ampliamento di alcuni argomenti oggetto di lezione, ad esperienze di laboratorio e a calcoli relativi agli argomenti di chimica generale. Esse vengono integrate dalla proiezione di film didattici.

#### BIBLIOGRAFIA

- C. Brisi, V. Cirilli, *Chimica generale e inorganica*, Levrotto & Bella, Torino.  
 M.J. Sienko, R.A. Plane, *Chimica : principi e proprietà*, Piccin, Padova.  
 C. Brisi, *Esercitazioni di chimica*, Levrotto & Bella, Torino.  
 P. Silvestroni, *Fondamenti di chimica*, Veschi, Roma.  
 L. Rosemberg, *Teoria e applicazioni di chimica generale*, Collana Schaum, ETAS  
 Kompass.  
 M. Montorsi, *Appunti di chimica organica*, CELID, Torino.

## B 1430 Disegno tecnico industriale

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 26 laboratori 16 (settimanali 6/2/2)

Prof. Rita Quenda (Meccanica)

Prof. Maurizio Orlando (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

L'insegnamento ha lo scopo di fornire agli allievi le nozioni fondamentali del disegno tecnico, base della progettazione industriale, nonché le prime indicazioni per il proporzionamento ed il montaggio di elementi e complessivi.

Vengono inoltre illustrati ed esaminati moderni metodi di progettazione e fabbricazione assistita da calcolatore, con particolare riferimento al CAD.

#### PROGRAMMA

1. Principi generali di rappresentazione: proiezioni parallele, proiezioni ortogonali.
2. Quotatura. Quotatura funzionale.
3. Tolleranze dimensionali. Tolleranze di forma e di posizione. Principio del massimo materiale.
4. Rugosità.
5. Unione e collegamenti fra elementi meccanici. Filettature, saldature, chiodature. Chiavette, linguette, alberi scanalati.
6. Ruote dentate ad evolvente e rotismi.
7. Cuscinetti: a strisciamento, a rotolamento. Criteri di scelta e norme di montaggio.
8. Elementi di disegno assistito: grafica automatica interattiva; algoritmi per il tracciamento di primitive grafiche; ottimizzazione. Trasformazioni nel piano. Trasformazioni nello spazio.
9. Programmi per il CAD (*computer aided drafting*).

#### ESERCITAZIONI.

Disegni e schizzi di complessivi e particolari.

Stesura di programmi per la grafica interattiva e per le trasformazioni geometriche nel piano e nello spazio.

Applicazione del programma AutoCAD.

#### BIBLIOGRAFIA

- A. Chevalier, E. Chirone, V. Vullo, *Manuale del disegno tecnico*, SEI, Torino.  
 R. Rossi, *Il manuale del disegnatore*, Hoepli, Milano.  
 S.L. Straneo, R. Consorti, *Disegno tecnico*, Principato, Milano.  
 M. Orlando, G. Podda, *Lineamenti di disegno automatico*, CLUT, Torino.  
 M. Mortenson, *Modelli geometrici*, McGraw-Hill.

## B 1901      Fisica 1

Anno: periodo 1:2    Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 laboratori 3 (settimanali 6/2/in 4 turni)

Prof. Elio Miraldi (Fisica)

Il corso si propone di fornire gli elementi di base necessari per la comprensione della meccanica del punto e dei sistemi, con particolare riguardo al corpo rigido e ai fluidi, dell'ottica geometrica in sistemi ottici centrati, della fisica matematica, del campo gravitazionale e coulombiano, dell'elettrostatica nel vuoto.

### PROGRAMMA

Metrologia: Misurazione e incertezze. Sistemi di unità di misura. Analisi dimensionale. Metodo dei minimi quadrati.

Cinematica del punto: Moto rettilineo e curvilineo. Moto relativo (classico e relativistico) e covarianza delle leggi fisiche. Riferimenti inerziali e non inerziali.

Dinamica del punto: principi di Newton. Forze d'inerzia. Vincoli e attrito radente. Attrito del mezzo. Lavoro, potenza. Teorema dell'energia cinetica.

Cenni di cinematica e dinamica relativistica.

Campi di forze conservativi: energia potenziale. Conservazione dell'energia meccanica. Oscillazioni unidimensionali (libere, smorzate, forzate).

Gravitazione. Conservazione del momento angolare. Campo e potenziale gravitazionale. Tre leggi di Kepler.

Elettrostatica nel vuoto. Potenziale e campo di un dipolo. Teorema e legge di Gauss. Capacità. Energia elettrostatica.

Meccanica dei fluidi: legge di Stevino, legge di Archimede. Equazione di continuità. Equazione di Bernoulli.

Dinamica dei sistemi: teorema del centro di massa. Sistemi a massa variabile. Teorema di König. Corpo rigido. Assi principali d'inerzia. Pendolo fisico. Fenomeni d'urto.

Onde in mezzi elastici. Ottica geometrica.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI.

Esercitazioni in aula: esercizi applicativi sul programma del corso.

Esercitazioni in laboratorio (*computer on line*): misura di spostamenti e velocità di un corpo in caduta libera, e dell'accelerazione di gravità; misura del periodo del pendolo semplice in funzione della lunghezza e dell'elongazione; misura dell'indice di rifrazione di un prisma in deviazione minima.

### BIBLIOGRAFIA

C. Mencuccini, V. Silvestrini, *Fisica, vol. 1*, Liguori, Napoli, 1987.

A. Tartaglia, *Elettromagnetismo e ottica*, Levrotto & Bella, Torino, 1986.

D. Halliday, R. Resnick, *Fisica, vol. 1 e 2*, Ambrosiana, Milano, 1982.

R. Resnick, *Introduzione alla relatività ristretta*, CEA, Milano, 1969.

C. Kittel [et al.], *La fisica di Berkeley*, Zanichelli, Bologna, 1970.

R-P. Feynmann, R.B. Leighton, M. Sands, *La fisica di Feynmann*, Addison-Wesley, Malta, 1970.

## B 2300 Geometria

Anno: periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 74 esercitazioni 46 (settimanali 6/4)

Prof. Maria Teresa Rivolo (Matematica)

Il corso si propone di fornire agli studenti una preparazione di base su due argomenti: la geometria analitica del piano e dello spazio e l'algebra lineare.

REQUISITI. Nozioni propedeutiche, in particolare le proprietà dei numeri reali, le derivate e gli integrali, sono date nel corso di *Analisi matematica 1*.

### PROGRAMMA

Calcolo vettoriale.

Geometria analitica del piano. Coniche ed altri luoghi geometrici.

Coordinate polari nel piano e numeri complessi. Esponenziale complesso. Equazioni algebriche.

Geometria analitica dello spazio. Rappresentazione e studio di curve e superfici.

Cambiamenti di coordinate. Coordinate cilindriche e sferiche.

Studio di curve dal punto di vista differenziale.

Spazi vettoriali.

Calcolo matriciale.

Sistemi lineari.

Applicazioni lineari. Autovalori ed autovettori.

Forma canonica di Jordan.

Equazioni differenziali lineari a coefficienti costanti di ordine  $n$ .

Spazi euclidei.

### BIBLIOGRAFIA

S. Greco, P. Valabrega, *Lezioni di algebra lineare e geometria*, 2 v., Levrotto & Bella, Torino.

S. Greco, P. Valabrega, *Esercizi risolti di algebra lineare e geometria analitica differenziale*, Levrotto & Bella, Torino.

*Esercizi di algebra lineare e geometria analitica*, CELID.

## B 0232      Analisi matematica 2

Anno:periodo 2:1 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Maria Teresa Galizia Angeli (Matematica)

Il corso si propone di completare la formazione matematica di base dello studente, con particolare riferimento al calcolo differenziale e integrali in più variabili, alla risoluzione delle equazioni e dei sistemi differenziali ed ai metodi di sviluppo in serie.

REQUISITI. Si richiede allo studente il possesso dei metodi di calcolo e delle considerazioni di carattere teorico forniti dai corsi di *Analisi matematica* e di *Geometria*.

### PROGRAMMA

Funzioni continue di più variabili.

Calcolo differenziali in più variabili.

Calcolo differenziale su curve e superfici.

Integrali multipli.

Integrali su curve e superfici.

Spazi vettoriali normati e successioni di funzioni.

Serie numeriche e serie di funzioni.

Serie di potenze.

Serie di Fourier.

Equazioni e sistemi differenziali.

### BIBLIOGRAFIA

A. Bacciotti, F. Ricci, *Lezioni di Analisi matematica 2*, Levrotto & Bella, Torino, (nuova edizione) 1991.

M. Leschiutta, P. Moroni, J. Vacca, *Esercizi di matematica*, Levrotto & Bella, Torino, 1982.

## B 1902      Fisica 2

Anno:periodo 2:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 laboratori 12 (settimanali 6/2/2 a sett. alterne)

Prof. Angelo Tartaglia (Fisica)

La prima parte del corso è dedicata allo studio dell'elettromagnetismo classico nel vuoto e nella materia a partire dai fenomeni di polarizzazione nei dielettrici alla teoria delle onde elettromagnetiche e all'ottica ondulatoria (interferenza, diffrazione, polarizzazione delle onde).

La seconda parte introduce i fondamenti della meccanica quantistica e le leggi generali della termodinamica, trattate secondo l'approccio statistico.

### PROGRAMMA

Campo elettrico in presenza di un dielettrico. Polarizzazione dei dielettrici.

Correnti elettriche in regime stazionario. Legge di Ohm. Effetto Joule. Principi di Kirchhoff.

Il campo magnetico statico. La forza di Lorentz. L'amperometro. La legge di Ampère-Laplace. Paramagnetismo; ferromagnetismo; diamagnetismo.

Fenomeni induttivi. Equazioni di Maxwell. Onde elettromagnetiche.

Quantizzazione dell'energia elettromagnetica: l'effetto fotoelettrico; l'effetto Compton. Propagazione delle onde. Effetto Doppler. Composizione di onde. Battimenti. Interferenza tra due onde. Fenomeni di diffrazione. Polarizzazione della luce. Principi e fondamenti della meccanica quantistica. Equazione di Schrödinger. Equazione di Klein-Gordon. Principi di meccanica statistica. Il primo e il secondo principio della termodinamica. Il gas perfetto. Il gas reale. Statistiche di Fermi e di Bose. Gas quantici. Gas di fotoni; il corpo nero.

#### BIBLIOGRAFIA

A. Tartaglia, *Dall'elettrone all'entropia*, Levrotto & Bella, Torino, 1992.  
 A. Tartaglia, *300 esercizi svolti di elettromagnetismo e ottica*, Levrotto & Bella, Torino, 1986.

## B 2170 Fondamenti di informatica

Anno:periodo 2:1 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 26 laboratori 26 (settimanali 4/2/2)

Prof. Aldo Laurentini (Automatica e informatica)

Il corso intende fornire una visione generale della struttura e delle principali applicazioni di un sistema di elaborazione dell'informazione.

Questo obiettivo sarà raggiunto mediante la descrizione: dei principi di funzionamento, dei principali blocchi costituenti l'architettura *hardware* e delle funzioni relative, dei principali sottosistemi del *software* di base, di un linguaggio di programmazione (Pascal) ed infine di alcune applicazioni.

#### PROGRAMMA

Sistemi di numerazione; rappresentazione dell'informazione numerica (virgola fissa e virgola mobile) e non numerica in un elaboratore.

Algebra di Boole e circuiti logici.

Architettura della CPU (componenti, tecnologie, classificazioni, prestazioni); cenni sul linguaggio macchina.

Periferiche: prestazioni e tecnologie (dischi magnetici e ottici, nastri; *display*, stampanti e *plotter*; dispositivi d'ingresso: *mouse*, tavolette, *scanner*).

*Assembler*, linguaggi superiori, compilatori ed interpreti.

Il linguaggio Pascal ed il suo uso. Code, *stack* e tabelle.

Sistemi operativi e *software* di sistema. L'MS/DOS.

Cenni su comunicazioni e reti di calcolatori.

*Software* di utilità per la gestione basi dati, l'editoria elettronica, ecc. Cenni sulla progettazione assistita dal calcolatore (CAD).

#### BIBLIOGRAFIA

P. Demichelis, E. Piccolo, *L'informatica di base, Fortran 77 e Pascal*, Levrotto & Bella, Torino, 1987.

M. Mezzalama, N. Montefusco, P. Prinetto, *Aritmetica dei calcolatori e codifica dell'informazione*, UTET, Torino, 1988.

K. Jensen, N. Wirth, *Pascal user manual and report: ISO Pascal standard*, 3rd ed., Springer, New York, 1985.

## B 1790 Elettrotecnica

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 88 esercitazioni 26 (settimanali 6/2)

Prof. Mario Chiampi (Ing. elettrica industriale)

Il corso si propone di introdurre i fondamenti dell'elettrotecnica generale e di fornire le nozioni basilari relative all'utilizzazione di macchine e impianti elettrici.

Il corso comprende lezioni teoriche, esercitazioni con esempi numerici ed eventuali seminari integrativi.

**REQUISITI.** Gli argomenti trattati fanno riferimento a concetti fondamentali impartiti nei corsi di *Analisi matematica 1 e 2* e di *Fisica 2*.

### PROGRAMMA

*Reti elettriche in regime stazionario e quasistazionario.*

Sistemi e parametri concentrati: grandezze elettriche fondamentali, regimi di funzionamento, bipoli elementari.

Reti di bipoli normali in regime stazionario e sinusoidale, metodo simbolico.

Potenza elettrica; potenza attiva, reattiva e apparente; rifasamento; strumenti di misura.

Fenomeni transitori elementari.

Tipologia dei sistemi trifasi; sistemi simmetrici ed equilibrati; misure di potenza con inserzione Aron.

*Aspetti applicativi della teoria dei campi*

Campo di corrente statico; impianti di messa a terra e normative antinfortunistiche; dimensionamento e protezione delle condutture.

Rigidità dielettrica e isolamenti; condensatori.

Materiali ferromagnetici dolci e duri; circuiti magnetici; relè differenziale.

Calcolo di auto- e mutue induttanze; forze elettromotrici indotte; definizione di potenziale elettrico; perdite nel ferro.

Conversione elettromeccanica; elettromagneti; motori a riluttanza passo-passo.

*Elementi di macchine elettriche*

Trasformatore monofase: principi di funzionamento, caratteristiche e loro identificazione, modalità costruttive e di impiego.

Trasformatori trifasi; autotrasformatori; trasformatori di misura.

Principi di funzionamento e caratteristiche delle macchine a induzione trifasi; avviamento e regolazione della velocità; motore a induzione monofase.

Tipologia e caratteristiche delle macchine a corrente continua a collettore; regolazione di coppia e velocità; motori *brushless*.

Cenni sulle macchine sincrone.

## B 3370 Meccanica razionale

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 30 laboratori 20 (settimanali 6/2/2)

Prof. Riccardo Riganti

Prof. Maria Grazia Zavattaro (Matematica)

Il corso ha come finalità l'acquisizione della Meccanica e dei relativi metodi matematici di studio. Viene trattata la meccanica del corpo rigido e dei sistemi articolati.

Vengono esposti i principi fondamentali della meccanica newtoniana, lagrangiana e hamiltoniana, nonché i loro sviluppi analitici ed applicativi, con particolare attenzione ai problemi che interessano l'ingegneria.

Il corso consta di lezioni ed esercitazioni in aula e presso il LAIB.

REQUISITI. Gli argomenti dei corsi di *Analisi matematica*, *Geometria* e *Fisica I*.

### PROGRAMMA

Coordinate lagrangiane, sistemi olonomi e gradi di libertà.

Vincoli e reazioni vincolari.

Cinematica del corpo rigido: moti rigidi nel piano e nello spazio; leggi di distribuzione di velocità e accelerazione; moti relativi e composizione di moti rigidi polari e problemi di rotolamento.

Statica: vettori applicati e momenti, baricentri, momenti d'inerzia; equazioni cardinali dell'equilibrio.

Dinamica: forze d'inerzia e principio di d'Alembert; i teoremi della quantità di moto e del momento angolare; integrali primi; dinamica relativa ed equilibrio relativo. Moti rigidi particolari: solido con asse fisso e con punto fisso.

Meccanica analitica: lavori elementari effettivi e virtuali; equazione simbolica della dinamica e principio dei lavori virtuali; energia cinetica; sistemi conservativi. Equazioni di Lagrange e di Hamilton; spazio delle fasi e teorema di Liouville.

Stabilità e analisi del moto: metodi di soluzione analitica e numerica; stabilità delle configurazioni di equilibrio; linearizzazione.

Sistemi non lineari: attrattori, biforcazioni.

### BIBLIOGRAFIA

R. Riganti, *Fondamenti di meccanica classica*, Levrotto & Bella, Torino, 1988.

R. Riganti, *Sistemi stocastici*, Levrotto & Bella, Torino, 1987.

N. Bellomo [et al.], *Problemi di meccanica classica e stocastica*, Levrotto & Bella, Torino, 1987.

## **B 4620      Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali**

Anno:periodo 2:2    Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 30 laboratori 10 (settimanali 6/2)

Prof. Fedele Abbattista (Scienza dei materiali e ing. chimica)

### PROGRAMMA

Generalità sui combustibili. Potere calorifico inferiore e superiore. Stechiometria delle reazioni di combustione. Temperatura di fiamma. Analisi dei fumi e controllo della combustione.

Descrizione dei principali combustibili di interesse aeronautico.

Diagrammi di stato binari e ternari.

Materiali ceramici tradizionali. Materiali ceramici per alte temperature. Materiali ceramici ad alto potere coibente.

Vetro e vetroceramiche.

Materiali metallici. Metallurgia del ferro. Acciai al carbonio. Trattamenti termici degli acciai. Trattamenti di indurimento superficiale. Cenni sugli acciai legati. Metallurgia del rame. Principali leghe a base di rame. Metallurgia dell'alluminio.

Leghe leggere da fonderia da lavorazione plastica, da bonifica. Metallurgia del magnesio. Leghe superleggere. Metallurgia del titanio. Leghe a base di titanio.

Materie plastiche. Polimeri e polimerizzazione. Principali resine termoplastiche e termoindurenti.

### BIBLIOGRAFIA

C. Brisi, *Chimica applicata*, Levrotto & Bella.

## B 0050 Aerodinamica

Anno: periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 40 laboratori 16 (settimanali 6/4)

Prof. Fiorenzo Quori (Ing. aeronautica e spaziale)

Scopo del corso è fornire le nozioni fondamentali sulla meccanica dei fluidi e indicare i principali metodi per effettuare i calcoli aerodinamici che interessano l'ingegneria aeronautica, in particolare la determinazione delle proprietà aerodinamiche dei profili alari e delle ali di allungamento finito, sia in corrente subsonica sia in corrente supersonica. Le lezioni sono integrate da esercitazioni analitiche, numeriche e sperimentali.

**REQUISITI.** È sufficiente avere seguito i normali corsi del biennio.

### PROGRAMMA

Considerazioni generali sul moto di un corpo in un mezzo fluido.

Azioni meccaniche sul corpo.

Coefficienti adimensionali di forza e di momento; loro dipendenza dai numeri di Reynolds e di Mach.

Cenni sullo strato limite.

Correnti incompressibili non viscose.

Equazioni di continuità, quantità di moto ed energia.

Correnti incompressibili piane.

Campi di moto semplici.

Funzioni di variabile complessa e loro proprietà.

Metodo delle trasformazioni conformi per lo studio del campo attorno ad un profilo alare.

Teorema di Kutta-Joukowski.

Teoria approssimata dei profili sottili e poco curvi.

Correnti incompressibili spaziali.

Ali di apertura finita di grande e piccolo allungamento: teorie di Prandtl e di Jones.

Correnti compressibili: equazioni di continuità, quantità di moto, energia ed entropia.

Velocità del suono.

Grandezze di arresto e critiche.

Direzioni e linee caratteristiche e loro proprietà.

Correnti subsoniche piane linearizzate e non linearizzate.

Piano odografico e sue proprietà.

Onde d'urto rette e oblique.

Studio di getti e profili alari supersonici.

Resistenza d'onda.

### ESERCITAZIONI.

Di laboratorio: con piccola galleria del vento subsonica.

In aula: analitiche e di calcolo numerico, eventualmente con l'impiego di tabelle numeriche.

Visita del laboratorio di aeronautica "Modesto Panetti" ed eventuale presenza a prove effettuate sui grandi impianti.

### BIBLIOGRAFIA

F. Quori, *Aerodinamica*, Torino, Levrotto & Bella, 1993

## B 2060 Fisica tecnica

Anno:periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 50 laboratori 6 (settimanali 4/4)

Prof. Giuseppe Ruscica (Energetica)

Il contenuto del corso è quello tradizionale presso questa Facoltà, con particolare riferimento alla termodinamica applicata, elementi di moto dei fluidi e trasmissione del calore. Tali argomenti costituiscono il collegamento tra i corsi di fisica del biennio e i corsi successivi del triennio (in particolare *Macchine, Fisica dei fluidi* e magnetofluidodinamica).

REQUISITI. Sono propedeutici i corsi di *Analisi* ed i corsi di *Fisica 1 e 2*.

### PROGRAMMA

*Termodinamica*: generalità e definizioni.

Primo principio della termodinamica, energia interna, entalpia. Secondo principio della termodinamica, macchina di Carnot, equazione di Clausius, entropia. Lavoro disponibile ed analisi dei processi; exergia.

Gas ideali e loro proprietà. Effetto Joule-Thomson. Macchine termiche: ciclo di Carnot, cicli rigenerativi, cicli a quattro politropiche, cicli inversi.

Liquidi e vapori: proprietà delle miscele, cicli diretti, cicli rigenerativi, cicli inversi.

Conversione diretta dell'energia: fenomeni termoelettrici, celle a combustibile, dispositivi termoionici, generatori MHD.

Gas reali. Miscele di aria e vapor d'acqua: proprietà e diagrammi entalpici.

*Moto dei fluidi e trasmissione del calore*: viscosità, tipi di moto. Equazioni fondamentali. Efflusso degli aeriformi, moto dei fluidi nei condotti.

Conduzione termica stazionaria in geometria piana, cilindrica, sferica. Sistemi a superficie estesa: alette e spine. Sistemi con generazione interna di calore. Sistemi bidimensionali. Conduzione termica non stazionaria.

Convezione: analisi dimensionale, coefficienti di scambio termico convettivo, analogia di Reynolds-Prandtl. Scambiatori di calore: tipi, profili di temperatura, metodi di calcolo (di progetto e di verifica).

Irraggiamento: radiazione del corpo nero; corpi non neri; radiazione dei corpi grigi.

Scambio termico tra corpi grigi in assenza e con mezzo assorbente interposto.

### BIBLIOGRAFIA

C. Boffa, P. Gregorio, *Elementi di fisica tecnica*, vol. 2, Levrotto & Bella, Torino.

Mark W. Zemansky, *Calore e termodinamica*, Zanichelli, Bologna.

M.W. Zemansky, M.M. Abbott, H.C. Van Ness, *Fondamenti di termodinamica per ingegneri*, vol. 1 e 2, Zanichelli, Bologna.

P. Gregorio, *Esercizi di fisica tecnica*, Levrotto & Bella, Torino.

## B 4600 Scienza delle costruzioni

Anno:periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 50 laboratori 4 (settimanali 5/5)

Prof. Ezio Leporati (Ing. strutturale)

La scienza delle costruzioni studia fondamentalmente lo stato di tensione e di deformazione a cui le strutture sono soggette nella loro funzione di trasmissione degli sforzi. Il corso considera solo le strutture unidimensionali (travi e travature, non le piastre ed i

gusci) e conserva una impostazione classica, fondata sull'ipotesi lineare elastica e sul concetto delle tensioni ammissibili.

**REQUISITI.** È indispensabile la conoscenza della statica e della geometria delle aree, oltre alle nozioni comuni di analisi.

### PROGRAMMA

Elementi di statica del corpo rigido.

Vincoli e grado di iperstaticità delle strutture.

Reazioni vincolari.

Schemi strutturali anomali.

Le caratteristiche di sollecitazione.

Travature reticolari piane.

Analisi dello stato di tensione.

Equazioni indefinite e ai limiti.

Ricerca analitica delle direzioni e delle dilatazioni principali.

Le equazioni di congruenza.

L'equazione dei lavori virtuali.

Il metodo delle forze.

Influenza dei cedimenti vincolari e delle variazioni termiche.

L'equazione differenziale della linea elastica.

Strutture piane iperstatiche.

Le equazioni di Muller Breslau.

La trave continua.

Le proprietà del corpo elastico.

L'energia potenziale elastica.

Teorema di Betti.

Linee di influenza di deformazioni e sollecitazioni.

Teoremi di Clapeyron e di Castigliano.

Il corpo elastico isotropo.

Relazione tra le costanti elastiche.

L'energia distortore.

Il problema di Saint Venant: le equazioni generali, sforzo normale, flessione, torsione; taglio; sollecitazioni composte.

La teoria delle travi.

Le tensioni addizionali.

I criteri di resistenza di Beltrami e di Von Mises.

La verifica della sicurezza.

L'instabilità elastica.

Problemi del secondo ordine.

### ESERCITAZIONI.

Consistono in applicazioni e in accertamenti dell'apprendimento della teoria svolta a lezione. Si richiamano inoltre gli elementi di statica e di geometria della masse indispensabili per lo svolgimento dei calcoli richiesti.

### LABORATORI.

Determinazione del diagramma di deformazione di acciai e di leghe leggere. Rilievo di spostamenti e di deformazioni unitarie di elementi strutturali.

### BIBLIOGRAFIA

Cicala, *Scienza delle costruzioni, vol. 1 e 2*, Levrotto & Bella, Torino.

Belluzzi, *Scienza delle costruzioni, vol. 1*, Zanichelli, Bologna.

Baldacci, *Scienza delle costruzioni, vol. 1 e 2*, UTET, Torino.

## B 0510 Calcolo numerico

Anno:periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 20 laboratori 20 (settimanali 6/2/2)

Prof. Claudio Canuto (Matematica)

Il corso ha lo scopo di preparare gli allievi alla risoluzione numerica di modelli matematici di interesse ingegneristico.

Il corso consta di due parti. Nella prima, avente carattere istituzionale, vengono visitati i luoghi classici dell'analisi numerica di base, attraverso la descrizione e la valutazione critica degli algoritmi e delle metodologie numeriche più importanti. La seconda parte, di tipo monografico, è volta alla formulazione di un semplice ma significativo modello matematico, all'analisi delle sue proprietà, alla scelta di una o più tecniche di discretizzazione numerica e conseguente implementazione su calcolatore.

**REQUISITI.** *Analisi matematica 1 e 2, Geometria, Fisica*, conoscenza del linguaggio Fortran.

### PROGRAMMA

Vari tipi di errore nel trattamento numerico di modelli matematici.

Risoluzione di sistemi di equazioni lineari mediante metodi diretti e iterativi. Calcolo di autovalori e autovettori. Risoluzione di equazioni non-lineari. Approssimazione di funzioni.

Derivazione e integrazione numerica. Risoluzione di equazioni differenziali ordinarie. Classificazione delle equazioni a derivate parziali; problemi ai valori al bordo e iniziali. Problemi ellittici, parabolici, iperbolici. Esempi: problemi di diffusione-transporto, problemi di elasticità.

Il metodo degli elementi finiti e le sue proprietà matematiche. Applicazione alla discretizzazione numerica di modelli matematici.

### ESERCITAZIONI E LABORATORIO

Le esercitazioni volgeranno principalmente alla implementazione degli algoritmi visti a lezione, con l'ausilio di *software* di libreria. È possibile l'uso del calcolatore parallelo di tipo Ipercubo a 32 processori presente al Politecnico.

### BIBLIOGRAFIA

G. Monegato, *Calcolo numerico*, Levrotto & Bella, Torino, 1985.

V. Comincioli, *Analisi numerica : metodi, modelli, applicazioni*, McGraw-Hill, Milano, 1990.

C. Johnson, *Numerical solution of partial differential equations by the finite element method*, Cambridge Univ. Press, 1990.

## B 1030 Costruzioni aeronautiche

Anno:periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Piero Morelli (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso intende dare agli allievi: a) nozioni di calcolo strutturale elementare del velivolo nel suo complesso e delle sue parti; b) descrizione delle strutture dei velivoli, dei loro impianti e delle loro installazioni.



**REQUISITI.** *Scienza delle costruzioni*; nozioni basilari di aerodinamica tecnica (caratteristiche aerodinamiche dei profili alari, delle ali e delle eliche) e di meccanica del volo (prestazioni del velivolo, stabilità e manovrabilità).

## PROGRAMMA

### *Parte strutturale.*

Condizioni di carico in volo e al suolo, poste a base del calcolo strutturale; materiali aeronautici e loro caratteristiche rilevanti ai fini del calcolo strutturale; complementi di scienza delle costruzioni sulla flessione, torsione e taglio di strutture a parete sottile (a guscio e semiguscio), instabilità elastica generale, locale e torsionale delle aste compresse; instabilità elastica dei pannelli soggetti a compressione e a taglio; verifiche strutturali degli attacchi a sforzi concentrati.

### *Parte descrittiva.*

Ala, alettoni, ipersostentatori, aerofreni, impianti antighiaccio; fusoliera, collegamenti ala-fusoliera; impennaggi, compensazione aerodinamica, equilibrio statico e dinamico delle superfici di governo, organi di comando, alette; installazione dei gruppi motopropulsori; organi per l'involo e l'arrivo: carrelli, scafi e galleggianti; impianto oleodinamico ed elettrico, impianti di condizionamento e pressurizzazione delle cabine.

**ESERCITAZIONI.** Il corso è integrato da una serie di esercitazioni di disegno di parti strutturali di un velivolo e di calcolo strutturale.

## BIBLIOGRAFIA

Lausetti, *L'aeroplano*, Levrotto & Bella, Torino.

Rivello, *Theory and analysis of flight structures*, McGraw-Hill.

Bruhn, *Analysis and design of flight vehicle structures*, Tri-State Offset Co.

Vallat, *Résistance des matériaux appliquée à l'aviation*, Béranger.

Sechler & Dunn, *Airplane structural analysis and design*, Dover.

## **B 3170**    **Matematica applicata**

Anno:periodo 3:2    Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 30 (settimanali 6/2)

Prof. Miriam Pandolfi (Matematica)

Il corso si propone lo scopo di fornire alcuni metodi matematici idonei alla modellizzazione matematica e all'analisi qualitativa e quantitativa di sistemi di interesse in campo aeronautico.

I temi principali trattati sono, in sostanza, le equazioni differenziali dei sistemi continui studiate con metodi analitici, di approssimazione e numerici, con particolare riguardo ai problemi, ai valori, al contorno e iniziali.

**REQUISITI.** I contenuti dei corsi di *Analisi matematica*, *Meccanica razionale* e *Scienza delle costruzioni*.

## PROGRAMMA

Equazioni differenziali ordinarie: problemi ai valori al contorno e agli autovalori, sistemi di SturmLiouville, metodo delle funzioni di Green.

Equazioni alle derivate parziali del 2° ordine: classificazione, formulazione di problemi ai valori iniziali e al contorno per le equazioni del calore, delle onde e del potenziale. Serie di Fourier, rappresentazioni integrali e trasformate di Fourier. Funzioni speciali e problemi in più dimensioni. Nozioni sommarie di calcolo delle vibrazioni

### ESERCITAZIONI.

Le esercitazioni si riferiscono ad alcuni argomenti trattati nel corso e prevedono l'impiego di tecniche numeriche (metodo di Newton, metodo dei residui pesati, integrazione di Simpson, Runge-Kutta ecc.). Esse verranno svolte a gruppi di 4-5 allievi e si compendieranno in una tesina che sarà parte integrante dell'esame.

### BIBLIOGRAFIA

Appunti dalle lezioni.

Larry C. Andrews, *Elementary partial differential equations with boundary value problems*, Academic Press, 1986.

## B 3210 Meccanica applicata alle macchine

Anno:periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Furio Vatta (Meccanica)

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.

REQUISITI. Si ritiene indispensabile aver seguito i corsi di *Meccanica razionale e Scienza delle costruzioni*.

### PROGRAMMA

*Dinamica applicata.*

Equazioni cardinali della dinamica. Applicazioni: equilibramento, fenomeni giroscopici, vibrazioni di sistemi a masse concentrate.

Equazione dell'energia. Applicazioni: camme, macchine a regime periodico, calcolo del volano.

Equazione dei lavori virtuali. Applicazioni: ammortizzatori di vibrazioni, albero con tre volani, instabilità aeroelastica.

Sistemi a massa distribuita. Criteri energetici. Velocità critica flessionale per alberi rotanti.

*Trasmissione del moto.*

Problemi di attrito: freni, frizioni, cinghie. Ruote dentate; rotismi ordinari ed epicicloidali.

*Lubrificazione idrodinamica.*

Teoria elementare della lubrificazione. Accoppiamento prismatico ed accoppiamento rotoideale.

### BIBLIOGRAFIA

Ferrari, Romiti, *Meccanica applicata alle macchine*, UTET, Torino, 1966.

Cancelli, Vatta, *Esercizi di meccanica applicata*, Levrotto & Bella, Torino, 1979.

Malvano, Vatta, *Fondamenti di lubrificazione*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

Malvano, Vatta, *Dinamica delle macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

## B 5930 Teoria matematica dei controlli

Anno:periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 30 (settimanali 6/2)

Prof. Andrea Bacciotti (Matematica)

Il corso si propone di introdurre gli allievi ai primi elementi della teoria dei sistemi di controllo (in tempo continuo) e dell'ottimizzazione. Durante il corso saranno anche forniti i necessari prerequisiti di teoria delle equazioni differenziali ordinarie, di teoria della stabilità e di calcolo delle variazioni.

### PROGRAMMA

1. Richiami sulla teoria delle equazioni e dei sistemi lineari di equazioni differenziali; cenno alla trasformata di Laplace; cenni alla teoria dei sistemi dinamici e delle equazioni differenziali nonlineari; concetto di stabilità e di stabilità asintotica.
2. Concetto di sistema; variabili di stato e variabili di controllo; sistemi lineari; cenno alle forme canoniche; funzione di trasferimento; controllabilità, stabilizzabilità, osservabilità.
3. Introduzione al calcolo delle variazioni classico e problemi di controllo ottimo senza vincoli sui controlli.
4. Problemi di controllo ottimo con vincoli sul controllo; principio di Pontrjagin e principio del *bang-bang*.

### BIBLIOGRAFIA

In linea di massima,

D. Burghes e A. Graham, *Introduction to control theory, including optimal control*, Horwood, 1980.

Sono previste integrazioni con appunti e altri testi.

## B 1710 Elettronica applicata

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 30 (settimanali 4/4)

Prof. Alfio Arcidiacono (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso è articolato in modo da fornire agli allievi ingegneri aeronautici le conoscenze di base di elettronica necessarie per comprendere le principali esigenze dei sistemi avionici moderni.

REQUISITI. *Elettrotecnica generale.*

### PROGRAMMA

Teoria delle reti elettriche: grandezze fondamentali, elementi circuitali, metodi di analisi, funzioni di trasferimento, analisi di reti semplici nel dominio del tempo e delle frequenze.

Dispositivi a stato solido: diodi, transistori, raddrizzatori controllati. Transistori a effetto di campo. Circuiti elettronici fondamentali: amplificatori. Uso della reazione. Multivibratori. Moduli funzionali, circuiti logici.

Sistemi di trasmissione dati: trasmissione analogica, trasmissione digitale. Conversione dei dati.

Elaborazione dei dati: elaborazione analogica, elaborazione digitale. Introduzione alle strutture informatiche.

Presentazione dei dati: *display* elettronici, deflessione, scansione, convertitori di scansione. *Display* elettro-ottici.

Introduzione alle caratteristiche di propagazione delle onde elettromagnetiche. Strumentazione elettronica e misure.

ESERCITAZIONI. Progetto di semplici circuiti elettronici.

### BIBLIOGRAFIA

Millman & Grabel, *Microelectronics*.

Demichelis, Piccolo, *Informatica di base*.

## B 3110 Macchine

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 42 laboratori 8 (settimanali 6/4/2)

Prof. Patrizio Nuccio (Energetica)

Il corso fornisce agli allievi aeronautici gli elementi di base per lo studio delle macchine a fluido termiche e idrauliche. Vengono illustrati i principi di funzionamento e i metodi usati per regolare le principali macchine motrici e operatrici. Particolare attenzione è dedicata allo studio del motore alternativo a combustione interna per impiego aeronautico.

REQUISITI. È utile la conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di *Fisica tecnica* e *Meccanica applicata alle macchine*.

**PROGRAMMA**

Considerazioni generali sulle macchine a fluido. Richiami di termodinamica.

Studio unidimensionale del moto dei fluidi compressibili nei condotti. Comportamento dell'ugello di De Laval. Calcolo delle portate negli ugelli.

Espressione del lavoro nelle turbomacchine.

Turbocompressori centrifughi e assiali. Studio del funzionamento e diagrammi caratteristici. Regolazione. Fenomeni di instabilità. Problemi di avviamento dei compressori assiali.

Compressori volumetrici alternativi e rotativi. Regolazione.

Macchine idrauliche. Funzionamento in condizioni di similitudine fluidodinamica. Turbopompe. Problemi di installazione e cavitazione.

Motori alternativi a combustione interna. Cicli ideali, limite e indicati. Perdite caratteristiche. Riempimento nei motori a quattro tempi. Variazione delle prestazioni con le condizioni ambiente. Regolazione.

Motore alternativo ad accensione comandata per impiego aeronautico. Sovralimentazione. Prestazioni al variare della quota. Sistemi di alimentazione del carburante.

Studio unidimensionale dei turboespansori (semplici, multipli ad azione e a reazione; assiali e radiali).

Cicli e schemi di impianti a vapore. Regolazione.

**ESERCITAZIONI.** Vengono sviluppati esempi di calcolo delle prestazioni delle macchine a fluido e rilevate, di alcune, le caratteristiche con prove al banco in laboratorio.

**BIBLIOGRAFIA**

A. Beccari, *Macchine*, 1. vol., CLUT, Torino, 1980.

A. Beccari, C. Caputo, *Motori termici volumetrici*, UTET, 1987.

**B 3300 Meccanica del volo**

Anno: periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 40 (settimanali 6-8/2-4)

Prof. Piero Gili (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso si propone di fornire le cognizioni fondamentali necessarie al calcolo delle caratteristiche di volo a regime, dell'autonomia, della capacità di carico, degli spazi e tempi di decollo e atterramento, della stabilità e della manovrabilità longitudinale e laterodirezionale, del volo manovrato e in raffica, nonché del comportamento in vite dei velivolo ad elica e a getto. Si danno anche alcuni cenni di meccanica del volo dell'elicottero. Si premettono alcune lezioni di statica dell'atmosfera, di aerostatica e di aerodinamica sperimentale indispensabili per una facile comprensione degli argomenti fondamentali del corso.

**REQUISITI.** *Aerodinamica, Meccanica applicata.*

**PROGRAMMA****Atmosfera:**

troposfera e stratosfera; aria tipo internazionale; livellazione barometrica.

**Aerostatica:**

aerostato ideale a volume o a peso di gas costante; conseguenza delle variazioni di temperatura e di pressione sulla salita e discesa dell'aerostato; palloni sonda.

**Aerotecnica:**

teoria di Fruode; le varie forme di resistenza; la polare aerodinamica del profilo con e senza ipersostentazione.

**Prestazione dei velivoli:**

forze e momenti aerodinamici; polare del velivolo; il volo librato; spinte necessarie al volo; caratteristiche di volo del turbogetto; il velivolo ad elica, caratteristiche geometriche e aerodinamiche dell'elica; il turboelica; studio del decollo nelle tre fasi di rullaggio, manovra e salita; atterramento su ostacolo; mancato decollo; spazio e tempo di decollo dell'idrovolante; consumi di combustibile durante le operazioni di decollo e salita fino alla quota di crociera, discesa e avvicinamento; autonomie orarie e chilometriche del velivolo a getto e ad elica in aria calma, diagrammi di utilizzazione, momento di trasporto, indice di economia di trasporto, influenza del vento sull'autonomia, diverse condotte possibili di volo; lossodromie e ortodromie.

**Stabilità:**

equilibrio e stabilità longitudinale a comandi liberi e bloccati del velivolo normale, tutt'ala e senza coda; momento di cerniera; effetto diedro; manovra degli alettoni, velocità angolare di rollio a regime, velocità di inversione degli alettoni; stabilità direzionale a comandi liberi e bloccati; trazione asimmetrica.

**Moti non uniformi:**

volo non uniforme nel piano di simmetria; traiettorie di Lanchester; diagrammi di manovra ICAO; moti curvi del velivolo, virata piatta, virata corretta, raggio minimo di curvatura, momenti precessionali d'inerzia nella virata; il volo in aria agitata; l'autorotazione e il suo studio sperimentale, la vite; condizioni di similitudine per prove su modello.

**Meccanica del volo dell'elicottero:**

schema base e forze agenti, i comandi di volo, principali sistemi rotore; potenze necessarie al sostentamento, potenze disponibili, regimi di salita.

**BIBLIOGRAFIA**

A. Lausetti, *L'atmosfera in quiete*, Levrotto & Bella, Torino.

A. Lausetti, F. Filippi, *Elementi di meccanica del volo*, Levrotto & Bella, Torino.

A. Lausetti, *Decollo e atterramento*, Levrotto & Bella, Torino.

A. Lausetti, *Lossodromie e ortodromie*, Levrotto & Bella, Torino

P. Gili, *Richiami di meccanica del volo degli elicotteri*, Levrotto & Bella, Torino

## B 0940 Costruzione di macchine

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 40 laboratori 12 (settimanali 4/4-x/x)

Prof. Muzio M. Gola (Meccanica)

**Obiettivo:** introdurre l'allievo ad una visione equilibrata dei problemi della progettazione e costruzione di componenti meccanici, sistemi e strutture, quale compromesso fra le loro esigenze di resistenza e durata, di economia, e quelle della sicurezza degli addetti o dei loro utilizzatori; approfondire i metodi di calcolo speciali per componenti o sottosistemi meccanici, con riferimento costante alle condizioni al contorno di natura tecnologica e produttiva.

**Organizzazione:** modulare su base settimanale, dedicando due lezioni di due ore alla presentazione della teoria e facendo immediatamente seguire una esercitazione di quattro ore nella quale o si applichino i concetti ad un caso reale (fornendo opportuno materiale d'appoggio) ovvero si eseguano osservazione e misure in laboratorio.

**REQUISITI.** *Disegno tecnico industriale, Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine.*

### PROGRAMMA

Modelli matematici del continuo, elastico o plastico: caratteristiche salienti dei tensori della tensione e della deformazione.

Modalità di cedimento: statico (fragile ed in campo plastico), fatica, frattura, *creep*; fenomenologia; modelli teorici del cedimento, valutazione del danno; sollecitazioni multiassiali; fatica cumulativa; sperimentazione su provini: macchine, metodi, normative; sperimentazione su componenti e sottostrutture.

Stato dell'arte su modelli di calcolo; convenzioni e livelli di semplificazione conservativa; affidabilità e valutazione oggettiva della sicurezza; scelta dei coefficienti di sicurezza; normative; natura dei criteri di sicurezza; metodi di analisi previsiva; piani di controllo.

Studio di esempi notevoli: tubi spessi e collegamenti per interferenza, in campo elastoplastico ed a frattura, e loro relazione con i problemi di fabbricazione; elementi del calcolo di tubi sottili e gusci in pressione (tensioni primarie e secondarie); dischi rotanti ad alta velocità; collegamenti filettati; serraggio e fatica; molle, calcolo a fatica, procedimenti speciali per l'incremento di resistenza; saldature di testa e d'angolo, calcolo normativo, relazione con le tecnologie, frattura; il problema tridimensionale del contatto hertziano, cuscinetti e ruote dentate; alberi di trasmissione; trasmissione di potenza tramite ingranaggi; metodo degli elementi finiti a spostamenti assegnati, fondamenti del calcolo matriciale delle strutture statico o dinamico (lineare).

### BIBLIOGRAFIA

Dispense del corso.

M. Gola, A. Gugliotta, *Introduzione al calcolo strutturale sistematico*, Levrotto & Bella, Torino.

M. Gola, *Nozioni preliminari sulla meccanica dei continui*, Levrotto & Bella, Torino.

A. Gugliotta, *Cenni di meccanica della frattura*, Levrotto & Bella, Torino.

## B 2220 Gasdinamica

Anno:periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Massimo Germano (Ing. aeronautica e spaziale)

Scopo del corso è quello di analizzare gli effetti di gas reale nei moti fluidi. Le conoscenze acquisite vengono applicate allo studio dello strato limite viscoso e termico, dei flussi separati, della resistenza di attrito e di forma, del riscaldamento aerodinamico.

REQUISITI. *Aerodinamica.*

### PROGRAMMA

Panoramica dei problemi aero-termo-gasdinamici connessi con il flusso intorno ad un corpo. Azioni meccaniche e termiche. Tecniche di indagine teorica e sperimentale.

Sistemi di riferimento. L'ipotesi del continuo. Gas rarefatti. Equazioni di bilancio e relative grandezze. Legami termodinamici e relazioni costitutive. Parametri di similitudine.

Fenomenologia dei flussi. Flussi potenziali. Flussi viscosi. Flussi termici e reagenti. Flussi laminari, transizionali e turbolenti. Vorticità aderente e libera. Flussi rotazionali. Flussi separati.

Strato limite. Spessore dello strato limite e sforzo di attrito a parete. Equazioni dello strato limite. Strato limite laminare. Lamina piana. Soluzioni esatte in vicinanza del punto d'arresto. Metodo integrale di Thwaites. Separazione laminare. Stabilità e transizione.

Turbolenza. Fenomenologia della turbolenza. Modelli di turbolenza. Strato limite turbolento. Lamina piana. Metodo di Head. Separazione turbolenta. Calcolo dei flussi separati. Resistenza di attrito e di forma. Flussi interni. Getti e scie.

Strato limite tridimensionale. *Crossflow* e separazione tridimensionale.

Strato limite termico e compressibile. Correzione dei coefficienti di attrito. Interazione onda d'urto - strato limite. Effetti combinati di conduzione, convezione e irraggiamento.

Aerothermochimica. Dissociazione dell'aria per urto e per attrito. Riscaldamento aerodinamico e scambi termici alle alte velocità.

### ESERCITAZIONI.

Le esercitazioni, sia numeriche che di laboratorio (Galleria del vento del Dipartimento di Ingegneria aeronautica e spaziale) vertono su applicazioni di carattere aeronautico.

### BIBLIOGRAFIA

H.W. Liepmann, A. Roshko, *Element of gasdynamics*, Wiley, 1967.

F. Quori, *Esercizi di gasdinamica*, Levrotto & Bella, 1974.

H. Schlichting, *Boundary layer theory*, Pergamon, 1955.

M. Van Dyke, *An album of fluid motion*, Parabolic Press, 1982.

## B 5660    Tecnologie delle costruzioni aeronautiche

Anno:periodo 4:2    Impegno (ore): lezioni 85 esercitazioni 20 (settimanali 6/2)

Prof. Margherita Clerico (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso tratta principalmente i problemi realizzativi delle strutture degli organi meccanici degli aeromobili nell'ottica della attività di fabbricazione, di officina, di controllo e di manutenzione.

Inoltre, scopo del corso è quello di fornire agli allievi gli elementi realistici di conoscenza dei materiali nel loro comportamento meccanico e termofisico, e dei processi 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.

Il corso si svolgerà con lezioni, esercitazioni, visite in Alenia e in altri enti.

**REQUISITI.** Corsi del biennio, *Chimica applicata, Scienza delle costruzioni.*

### PROGRAMMA

Cenni di statistica applicata alla dispersione dei dati sperimentali, al controllo di qualità, all'affidabilità.

Tipologie e tecnologie di fabbricazione.

Le prove non distruttive.

I materiali, le loro proprietà e il loro comportamento meccanico: struttura e deformazione, idealizzazione della deformazione e teorie del continuo, smorzamento, corrosione, frattura fragile, duttile e modi di transizione, scorrimento viscoso, fatica, attrito e usura.

Prove per la caratterizzazione dei materiali. La caratterizzazione dei materiali per le costruzioni aeronautiche.

Trattamenti termici.

I processi tecnologici per colata, per deformazione a caldo, per deformazione a freddo. Sinterizzazione, lavorazioni ad asportazione di truciolo, lavorazioni speciali dei metalli. Saldature, rivettature e collegamenti vari.

**ESERCITAZIONI.** Verifica di diversi organi e scelta del materiale più adatto; cicli di lavorazione; disegno di alcune parti e attrezzature di produzione.

### BIBLIOGRAFIA

M. Clerico, *Le tecnologie aeronautiche*, Levrotto & Bella, Torino, 1987.

M. Clerico, *I materiali e le loro proprietà*, Levrotto & Bella, Torino, 1993.

M. Clerico, *Il "sistema qualità" e le sue prove.*

## B 0052 Aerodinamica 2

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 26 (settimanali 8)

Prof. Maurizio Pandolfi (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso presenta una struttura monografica ed intende introdurre lo studente in un settore ben preciso della fluidodinamica numerica nel campo aeronautico: i moti di flusso compressibile (non-viscoso e non-conducibile) nei regimi non stazionario e supersonico stazionario.

Le equazioni di Eulero sono studiate nella forma quasi lineare e come leggi di conservazione, con l'attenzione rivolta sia alla comprensione fisica delle fenomenologie che ad aspetti fondamentali per lo sviluppo di metodi numerici.

Si presenta e si analizza nei dettagli un codice di carattere didattico per la previsione di moti non-stazionari unidimensionali e si sviluppano esperimenti numerici analizzando criticamente i risultati.

Il corso intende fornire la base per la comprensione di moderne metodologie numeriche di larga applicazione nel progetto aerodinamica.

### PROGRAMMA

Sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali di tipo iperbolico.

Equazioni di Eulero e moti unidimensionali non stazionari e supersonici stazionari. Caratteristiche, segnali, equazioni di compatibilità, onde, domini di dipendenza. Onde d'urto e superficie di contatto. Condizioni al contorno. Metodo delle caratteristiche.

Leggi di conservazione. Soluzioni deboli, cattura numerica di discontinuità, condizioni di entropia. Integrazione con approssimazione ai volumi finiti.

Formulazioni *upwind* conservative per le equazioni di Eulero.

Analisi di un codice per flussi quasi unidimensionali, basato sulla formulazione *flux-difference splitting*.

Esperienze numeriche e confronto dei risultati con quelli ottenuti con procedure analitiche.

## B 1250 Dinamica del volo

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 20 (settimanali 4/2)

Prof. Piero Morelli (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso intende introdurre l'allievo alla trattazione dei problemi della dinamica del volo, con particolare riferimento ai velivoli, allo scopo di determinarne e valutarne le cosiddette "qualità di volo" e la loro dipendenza da fattori aerodinamici ed inerziali.

**REQUISITI.** *Aerodinamica, Meccanica del volo*, buona preparazione nell'analisi matematica e nella meccanica razionale.

### PROGRAMMA

Richiami e complementi di nozioni sull'equilibrio, la stabilità statica e la manovrabilità longitudinale e latero-direzionale.

Dinamica del moto longitudinale: equazioni del moto a comandi liberi e bloccati; derivate di stabilità; risposta a manovre dell'equilibratore.

Dinamica del volo latero-direzionale: equazioni del moto a comandi bloccati; derivate di stabilità.

Stabilità e manovrabilità automatiche.

Simulatori di volo.

**ESERCITAZIONI.** Calcolo e rappresentazioni grafiche di caratteristiche di stabilità statica e dinamica e di manovrabilità longitudinale.

#### BIBLIOGRAFIA

Etkin, *Dynamics of atmospheric flight*, Wiley.

Roskam, *Airplane design, Part VI e VII*, Roskam Corp.

Babister, *Aircraft stability and control*, Pergamon.

Dickinson, *Aircraft stability and control for pilots and engineers*, Pitman.

Lecomte, *Mécanique du vol*, Dunod.

Perkins & Hage, *Airplane performance, stability and control*, Wiley.

## B 2570 Impianti aeronautici

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 66 esercitazioni 24 laboratori 6 (settimanali 6/2)

Prof. Sergio Chiesa (Ing. aeronautica e spaziale)

Scopo del corso è presentare all'allievo i vari impianti di potenza dei moderni aeromobili secondo una visione di tipo sistemistico. Per ogni impianto si considerano i principi generali di funzionamento, vari schemi alternativi e semplici metodi di progetto.

Una parte consistente del corso è dedicata alle metodologie di progetto sistemistico con finalizzazione ai concetti di sicurezza e efficacia del sistema e qualità del prodotto, nonché alle discipline tipiche della logistica di supporto al prodotto, come affidabilità, manutenibilità, manutenzione, coi necessari accenni ad aspetti economici, quali il concetto di costo del ciclo di vita (LCC).

Il corso si svolgerà con lezioni ed esercitazioni, alcune delle quali in laboratorio o su calcolatore e, se possibile, visite ad industrie e conferenze da parte di esponenti industriali.

**REQUISITI.** Materie di base e conoscenze generali sugli aeromobili.

#### PROGRAMMA

Comandi di volo.

Carrello d'atterraggio.

Impianto idraulico.

Impianto elettrico.

Impianto di condizionamento, antighiaccio, pneumatico e APU.

Logica pneumatica e algebra di Boole (cenni per allievi aeronautici).

Impianto combustibile.

Strumentazione di bordo e avionica.

Impianti vari e arredamento (cenni).

Previsione del peso e dei costi.

Sicurezza, efficacia di sistema e qualità del prodotto.

Affidabilità, manutenibilità e disponibilità.

Manutenzione e supporto logistico integrato.

Sviluppo sistemistico del prodotto (cenni).

ESERCITAZIONI. Semplici calcoli di dimensionamento. Applicazione al calcolatore. Eventuali lavori sviluppati autonomamente dagli allievi (es.: programmi di calcolo).

#### BIBLIOGRAFIA

- Chiesa, *Sistemazione interna e arredamento dei velivoli da trasporto*, CLUT.  
 Chiesa, *Impianti di bordo per aeromobili. Impianto idraulico*, CLUT.  
 Chiesa, *Impianti di bordo per aeromobili. Impianto elettrico*, CLUT.  
 Chiesa, *Impianti di bordo per aeromobili. Impianto combustibile*, CLUT.  
 Chiesa, *Impianti di bordo per aeromobili. Impianto pneumatico, condizionamento anti-ghiaccio e APU*, CLUT.  
 Chiesa, *Affidabilità, sicurezza e manutenzione nel progetto dei sistemi*, CLUT.  
 McKinley, Ben, *Basic science of aerospace vehicles*, McGraw-Hill.  
 Colombo, *Oleodinamica applicata*, Levrotto & Bella, Torino.  
 Bazovsky, *Principi e metodi dell'affidabilità*, ETAS Kompass.  
 D'Elia, *Impianti degli aerei*, Masson Italia.

## B 3830 Motori per aeromobili

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 (settimanali 6/2)

Prof. Giuseppe Bussi (Energetica)

Il corso descrive i turbomotori 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 il ruolo dei principali parametri termo-fluidodinamici sulle prestazioni (essenzialmente potenza o spinta e consumi), dall'altro il comportamento della macchina, sempre in termini di prestazioni, al variare delle condizioni di impiego e in risposta ai comandi della regolazione.

REQUISITI. Per una proficua partecipazione tornano d'utilità conoscenze di base nel campo delle macchine a fluido e della meccanica dei fluidi, fornite nei corsi di *Macchine, Aerodinamica e Gasdinamica*.

#### PROGRAMMA

Spinta (espressione *standard*, spinta interna, resistenza addizionale); rendimenti, impulsi e consumi specifici.

Cicli a gas per turbomacchine; influenza delle principali variabili termodinamiche sul lavoro utile e sul consumo specifico della potenza.

Studio delle prestazioni in sede di progetto; ottimizzazione del doppio-flusso, della turboelica.

Analisi funzionale dei componenti; prese d'aria per volo subsonico e supersonico; turbocompressori e turboespansori; combustori, effusori.

Regolazione e studio delle prestazioni in condizioni di impiego; presentazione in forma adimensionata delle prestazioni; correzione delle prestazioni.

Metodi per l'aumento temporaneo della spinta o della potenza: iniezione d'acqua e post-combustione.

Accoppiamento presa d'aria - motore: caso del turboreattore e dell'autoreattore.

Controllo del combustibile e sistema combustibile.

Miscelanea (invertitori di spinta; silenziatori, avviatori e avviamento; prove al banco).

**ESERCITAZIONI.** Calcolo, in sede di progetto, delle prestazioni di turbine a gas, turboreattori e autoretoreattori; applicazioni numeriche sul comportamento in regolazione di alcune macchine e di alcuni componenti.

#### BIBLIOGRAFIA

È disponibile una parte degli appunti delle lezioni a cura del docente.

*The jet engine*, Rolls Royce Ltd, Derby, 1969.

Hill, Peterson, *Mechanics and thermodynamics of propulsion*, Addison-Wesley, Reading (Mass.), 1965.

Hesse, Mumford, *Jet propulsion for aerospace application*, Pitman, New York, 1964.

## B 4200 Progettazione e costruzione di macchine speciali

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 55 laboratori 10 (settimanali 4/4)

Prof. Giancarlo Genta (Meccanica)

Il corso si propone di mettere gli allievi in grado di verificare e progettare le parti principali di un motore aeronautico alternativo o a turbina. Tale scopo viene perseguito trattando in dettaglio i metodi di calcolo e di verifica, con particolare riguardo ai metodi numerici attualmente più impiegati nella pratica professionale, senza però trascurare di dare agli allievi quelle nozioni teoriche più generali che sole permettono di acquisire la maturità tecnica indispensabile ad operare in un ambiente dinamico ed aperto alle innovazioni quali l'industria aeronautica e motoristica.

#### REQUISITI.

(Consigliati) *Meccanica applicata, Scienza delle costruzioni, Costruzione di macchine.*

#### PROGRAMMA

Progettazione statica dei rotori: modelli semplificati (teoria dei dischi) e modelli numerici, tensioni termiche, calcolo in campo elastoplastico.

Progettazione di alcuni organi dei motori.

Fondamenti della progettazione dinamica: dinamica dei sistemi a molti gradi di libertà, analisi modale, dinamica dei sistemi continui, tecniche di discretizzazione, effetti delle non linearità su comportamento dinamico.

Metodi per la progettazione dinamica: metodi delle matrici di trasferimento e metodo degli elementi finiti.

Progettazione dinamica dei rotori: diagramma di Campbell, velocità critiche, campi di instabilità, calcolo della risposta ad una assegnata distribuzione di squilibrio, effetti della non assialsimmetria del rotore e dei supporti, rotori su cuscinetti a rotolamento con comportamento non lineare.

Equilibratura dei rotori rigidi e deformabili.

Problemi dinamici delle macchine alternative: vibrazioni torsionali ed assiali, vibrazioni composte della macchine alternative.

**ESERCITAZIONI.**

Calcolo di verifica di un disco di turbina in campo elastico ed elastoplastico eseguito con metodi analitici e numerici e mediante l'uso di programmi FEM commerciali. Confronto tra i risultati ottenuti con i vari metodi. Studio dinamico di una trave, eseguito con vari metodi e confronto tra i risultati ottenuti e quelli sperimentali. Modellazione e simulazione numerica del comportamento dinamico di una piccola turbina a gas.

**LABORATORI.**

Controlli non distruttivi. Prova di centrifugazione su rotore di una turbina a gas. Analisi modale sperimentale di una trave e confronto dei risultati con quelli ottenuti mediante calcolo.

**BIBLIOGRAFIA**

G. Genta, *Calcolo e progetto di macchine*, vol. 2, Levrotto & Bella, Torino, 1987.  
G. Giovannozzi, *Costruzione e progetto di motori*, Levrotto & Bella, Torino, 1951.

**B 4280 Progetto di aeromobili**

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 56 (settimanali 4/4)

Prof. Ettore Antona (Ing. aeronautica e spaziale)

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 strutturati 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.

**REQUISITI.** *Analisi matematica, Meccanica razionale ed applicata, Scienza delle costruzioni, Costruzioni aeronautiche, Aerodinamica, Gasdinamica, Aeronautica generale, Tecnologie delle costruzioni aeronautiche.*

**PROGRAMMA***Il problema del progetto.*

Progetto come ottimizzazione. Indici di bontà, indici di carico. Ingrandimento. Fasi del progetto e assicurazione di qualità. Strumenti e metodi per il progetto. Le prove nelle varie fasi del progetto. L'ambiente.

*Gli aeromobili (e i veicoli spaziali).*

Collocazione per gli altri veicoli. Classificazione. Principi di funzionamento e di azionamento. La creazione delle forze (teoria impulsiva).

*Sicurezza e affidabilità.*

Definizioni e concetti generali. Aspetti probabilistici della sicurezza. Sicurezza da un punto di vista generale. Sicurezza dei sistemi. Sicurezza strutturale e durata strutturale.

Affidabilità e concetti affini. Principali metodologie di analisi per sicurezza, affidabilità, manutenibilità e altri concetti.

*Aspetti del progetto aerodinamico.*

Campi e modelli matematici. Sostentazione aerodinamica e profili alari. Caratteristiche di profili alari. Aerodinamica delle superfici portanti. Aspetti applicativi degli effetti della comprimibilità. Strato limite. Aerodinamica interna. Moderne tendenze del progetto aerodinamico.

*Prestazioni, manovrabilità, stabilità e controllabilità.*

Definizioni e principali concetti ispiratori dei requisiti. Sistemi di riferimento e componenti di spostamento. Prestazioni. Manovrabilità. Trimmaggio. Stabilità. Controllabilità. Stalli, avvistamento e altre manovre.

*Problemi aeroelastici.*

Considerazioni generali. Divergenza. Inversione dei comandi. Vibrazioni aeroelastiche. Prove in similitudine in aeroelasticità. Sicurezza nei problemi aeroelastici.

*Progetto strutturale.*

Carichi statici e dinamici. Sollecitazioni: corretta applicazione dei carichi, sollecitazioni medie, concentrazioni. Effetti della duttilità. Carichi e sollecitazioni ammissibili: materiali, collasso delle strutture, effetto dell'affaticamento.

Fanno inoltre parte integrante del programma i seguenti argomenti, costituenti basi per le considerazioni di progetto, unitamente alle nozioni propedeutiche delle già citate materie di insegnamento:

Similitudine fisica e sua realizzazione nelle prove.

Fondamenti di calcolo delle probabilità e teoria statistica.

Elementi di risposta dinamica delle strutture.

Meccanica della frattura.

Fenomeni critici della stabilità delle strutture.

## ESERCITAZIONI.

Nelle esercitazioni si utilizza una possibile metodologia di avamprogetto che, partendo da alcuni tipici requisiti di missione, definisce i principali parametri di progetto. Questo processo richiede, per il suo sviluppo logico, l'assunzione di alcuni parametri che vengono successivamente verificati in un procedimento iterativo che individua le aree di compatibilità fra i vari requisiti in termini di carico alare e rapporto spinta/peso o potenza/peso. Vengono inoltre scelti architettura del velivolo, disposizione e numero dei motori, tipo e dimensione delle superfici di comando, organi di atterraggio, con eventuale valutazione di qualità di volo e pilotabilità.

## BIBLIOGRAFIA

G. Corning, *Airplane design*, 1953.

B. Etkin, *Dynamics of flight*, 1959.

B.W. McCormick, *Aerodynamics of V/STOL flight*, Academic Press, 1967.

Abbott & von Dohennoff, *Theory of wing section*.

E.F. Bruhn, *Analysis and design of missile structures*, 1965.

D. Küchemann, *The aerodynamics design of aircraft*, Pergamon, 1978.

P. Galeotti, *Calcolo delle probabilità e statistica*, Levrotto & Bella, Torino, 1976.

J. Roskam, *Airplane design, vol. I-VIII*.

D. Brock, *The practical use of fracture mechanics*, Kluwer, Boston, 1988.

## B 4380 Propulsione aerospaziale

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 66 esercitazioni 24

Prof. Guido Colasurdo (Energetica)

Il corso fornisce agli allievi nozioni relative alle modalità del volo nello spazio e alle tecnologie dei propulsori a tale scopo adottati.

Vengono pertanto dapprima esaminate le missioni nello spazio e le traiettorie di ascesa in orbita, evidenziando le corrispondenti esigenze propulsive. Nella seconda parte del corso vengono illustrate le caratteristiche dei propulsori impiegati e di possibile impiego.

Attenzione è dedicata agli esoreattori di nuova concezione per il volo transatmosferico.

### PROGRAMMA

Il problema dei due corpi: costanti del moto; equazione della traiettoria; orbite circolari ed ellittiche; traiettorie paraboliche ed iperboliche; tempo di volo.

Sistemi di coordinate; trasformazione di coordinate; parametri orbitali classici. Traccia di un satellite sulla superficie terrestre.

Satelliti terrestri; perturbazioni; orbite geostazionarie, eliosincrone, Molniya; costellazioni di satelliti. Manovre orbitali nel piano e semplici cambiamenti di piano.

Traiettorie balistiche; effetto della rotazione terrestre.

Il problema dei tre corpi. Traiettorie Terra-Luna; sfera di influenza di un astro; approssimazione delle *patched-conics*.

Traiettorie interplanetarie; fase geocentrica, finestra di lancio; fase eliocentrica, periodo sinodico; arrivo sul pianeta, tecnica di *fly-by*. Traiettorie non complanari.

Traiettorie di partenza dalla superficie terrestre; spinta e resistenza; perdite gravitazionali e per disallineamento della spinta. Equazione di Tsiolkovsky; razzo polistadio.

Traiettorie ad incidenza nulla deviate per gravità; ascesa diretta e mediante trasferta di Hohmann.

Caratteristiche dei propulsori spaziali e campo di impiego. Endoreattori chimici e propellenti solidi, liquidi e ibridi. Propulsori elettrici e nucleari. Sistemi di propulsione per l'ascesa in orbita, per il trasferimento orbitale e per il controllo di assetto.

Esoreattori avanzati per il volo transatmosferico e ipersonico. Propulsori multiciclo. Combustione supersonica. Integrazione propulsore-velivolo nel volo ipersonico.

### ESERCITAZIONI.

Analisi di traiettorie di inserimento in orbita, di manovre di trasferimento orbitale, di missioni lunari e interplanetarie. Analisi delle prestazioni di sistemi di lancio.

### BIBLIOGRAFIA

R.B. Bate, D.D. Muller, J.E. White, *Fundamentals of astrodynamics*, Dover, New York, 1971.

G.P. Sutton, *Rocket propulsion elements*, 6th ed., Wiley, New York, 1992.

## B 5330 Strutture aeronautiche

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 (settimanali 6/2)

Prof. Marco Di Sciuva (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso si propone di fornire le metodologie per il calcolo dello stato di sollecitazione e dei modi di cedimento dei principali elementi costituenti la struttura di un velivolo. In particolar modo il corso si propone di evidenziare i limiti di applicabilità del modello trave alle strutture a guscio rinforzato tipiche delle costruzioni aerospaziali.

### PROGRAMMA

Nella prima parte del corso vengono richiamate le principali formulazioni energetiche dei problemi della teoria dell'elasticità e derivati, in modo assiomatico, il modello trave, piastra e pannelli curvi, in metallo e materiali compositi.

Nella seconda parte viene sviluppata la teoria della stabilità statica, con particolare riferimento ai carichi critici ed al comportamento postcritico di elementi strutturali in parete sottile, in metallo e materiali.

Nella terza parte vengono sviluppati i concetti basilari del metodo degli elementi finiti ed approfonditi gli aspetti più strettamente connessi alla formulazione degli elementi monodimensionali (aste e travi) e bidimensionali, membranali e flessionali, universalmente adottati nella modellizzazione di tipici componenti delle strutture aeronautiche.

## B 0080 Aerodinamica sperimentale

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 4 laboratori 4

Prof. Michele Onorato (Ing. aeronautica e spaziale)

Le finalità dell'insegnamento sono l'acquisizione dei principi e dei metodi per la osservazione scientifica di fenomeni naturali, artificiali o misti.

### PROGRAMMA

Definizioni e convenzioni: il fenomeno, i fattori influenti. Analogie e similitudine tra fenomeni, leggi di similitudine e loro limiti.

Fenomeni reali e loro riproduzione in laboratorio e con modelli. Impianti sperimentali per ricerche fluidodinamiche. Strumenti: principi generali ed esempi di attuazione; rilevamento ed analisi di strumenti.

Strumenti tipici per la fluidodinamica.

Metodi di visualizzazione di flussi.

Gli errori nella osservazione e nella sperimentazione.

Criteri generali per la riduzione degli errori e la previsione dei comportamenti al vero.

ESERCITAZIONI. Partecipazione a prove in corso.

### BIBLIOGRAFIA

R.C. Pankhurst, D.W. Holder, *Wind tunnel technique*, Pitman.

Langhaar, *Dimensional analysis and theory of models*, Wiley.

Huntlet, *Dimensional analysis*, MacDonal, London.

Gorlin, Slezinger, *Wind tunnels and their instrumentation*.

Lae, Pope, *Wind tunnel testing*, Wiley.

## B 0090 Aeroelasticità applicata

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 20 laboratori 8 (settimanali 8/2)

Prof. Giuseppe Surace (Ing. aeronautica e spaziale)

L'obiettivo del corso è quello di fornire:

- una comprensione fisica adeguata dei principali fenomeni legati all'interazione tra le correnti d'aria non stazionarie e le strutture elastiche;
- una metodologia di base per la schematizzazione di tali fenomeni e la loro rappresentazione mediante equazioni;
- la conoscenza dei principali metodi analitici e numerici per trattare le suddette equazioni, senza e con l'intervento di sistemi attivi.

REQUISITI. *Aerodinamica, Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata.*

### PROGRAMMA

Definizione e classificazione dei fenomeni aeroelastici.

Richiami di elastomeccanica: travi e gusci. Coefficienti e funzioni di influenza.

Metodi di soluzione delle equazioni aeroelastiche, collocazione diretta, di Galerkin, di Rayleigh-Ritz, degli elementi finiti.

Problemi aeroelastici statici: divergenza torsionale, efficienza e inversione d'effetto delle superfici di comando. Divergenza flessionale dei missili.

Richiami di aerodinamica instazionaria.

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 modali ottenuti per via numerica e per via sperimentale.

Prove dinamiche a terra (GVT). Correlazione fra prove di vibrazione a terra e in volo.

Problemi aeroelastici dinamici: *flutter*, *flutter* di stallo, *whirl-flutter*, *buffeting*, *buzz* transonico, *panel flutter*.

Introduzione all'aeroservoelasticità.

Tecnica analitica per la conoscenza delle caratteristiche di un'ala flessibile equipaggiata con sistemi attivi di soppressione del *flutter* e alleviazione della raffica.

Teorie del flutter di aeromobili servo-comandati.

Analisi aeroservoelastica per sistemi analogici o digitali.

ESERCITAZIONI. Le esercitazioni consistono nello svolgimento di alcuni problemi strettamente connessi con gli argomenti trattati nelle lezioni e nello sviluppo monografico di almeno una tesina.

### BIBLIOGRAFIA

R.L. Bisplinghoff, H. Ashley, *Principles of aeroelasticity*, Dover, 1962.

Y.C. Fung, *An introduction to the theory of aeroelasticity*, Dover, 1962.

M.W. Försching, *Grundlagen der Aeroelastick*, Springer, 1974.

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

## B 1032 Costruzioni aeronautiche 2

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 54 esercitazioni 28 laboratori 8 (settimanali 6/2)

Prof. Giuseppe Surace (Ing. aeronautica e spaziale)

Lo scopo principale del corso è quello di insegnare agli studenti come 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.

**REQUISITI.** *Scienza delle costruzioni, Calcolo numerico e programmazione, Matematica applicata, Costruzioni aeronautiche, Aerodinamica.*

### PROGRAMMA

Il programma si articola nella trattazione e nello svolgimento per esteso dei seguenti punti fondamentali:

Algebra matriciale.

Analisi statica delle strutture aerospaziali con il metodo degli elementi finiti.

Meccanica delle vibrazioni lineari dei sistemi elastici ad 1, 2,  $n$  gradi di libertà e fenomeni connessi.

Analisi dinamica delle strutture aerospaziali con il metodo degli elementi finiti: frequenze proprie e analisi modale, problemi di interazione fluido-strutture, risposta dinamica.

Fenomeni *random*.

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 modali ottenuti per via numerica e per via sperimentale.

Prove dinamiche a terra (GVT). Correlazione fra prove di vibrazione a terra e in volo.

Strutture in materiale composito. Strutture *sandwich*.

Problemi di criticità nello studio aeroelastodinamico dei pannelli.

Effetti sull'uomo.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni consistono nello svolgimento di alcuni problemi strettamente connessi con gli argomenti trattati nelle lezioni e nello sviluppo monografico di almeno una tesina.

### BIBLIOGRAFIA

G. Surace, M. Pandolfi, *Teoria e tecnica delle vibrazioni. Parte 1., Le vibrazioni meccaniche; Parte 2., Le vibrazioni aeroelastiche*, CLUT.

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

Zienkiewicz, *The finite element method*, McGraw-Hill.

Shapiro, *Principles of helicopter engineering*, Temple.

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

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

## B 1260 Dinamica del volo spaziale

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 18 laboratori 10 (settimanali 6/2/2)

Prof. Fulvia Quagliotti (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso ha per oggetto lo studio del moto di corpi in un fluido e nel vuoto. Definiti i principali sistemi di riferimento, le equazioni cardinali della meccanica vengono scritte per ciascuno di essi. Si discutono poi i modelli matematici ottenuti e le ipotesi di linearizzazione. Si identificano le derivate aerodinamiche di stabilità e si definiscono le equazioni del moto complete in forma dimensionale e non dimensionale. Si studiano le caratteristiche di stabilità dei velivoli e corpi fusiformi, estese alle condizioni di volo ad alta incidenza. Si scrivono le equazioni delle traiettorie dei principali tipi di missile.

### PROGRAMMA

Equazioni del moto di un velivolo e veicolo spaziale.

Equazioni cardinali della meccanica dei corpi rigidi.

Trasformazione di coordinate.

Sistemi di riferimento.

Equazioni delle forze agenti su velivoli e missili riferite ai diversi sistemi di riferimento, equazioni dei momenti e loro discussione.

Specializzazione delle equazioni del moto allo studio della dinamica del velivolo e del missile.

Ipotesi di linearizzazione.

Derivate aerodinamiche di stabilità.

Equazioni del moto in forma non dimensionale.

Caratteristiche aeromeccaniche dei velivoli.

Caratteristiche di stabilità dei velivoli e dei corpi fusiformi in condizioni di volo ad alta incidenza (studio teorico e sperimentale).

Configurazioni a portata vorticoso. Controllo dei vortici che si generano all'apice di un corpo fusiforme.

Studio delle traiettorie dei principali tipi di missile.

**ESERCITAZIONI.** Metodi di valutazione sperimentale dei parametri di stabilità dinamica in galleria del vento. Tecniche di misura delle derivate di stabilità su diverse configurazioni.

### BIBLIOGRAFIA

B. Etkin, *Dynamics of flight : stability and control*, Wiley.

H. Ashley, *Engineering analysis of flight vehicles*, Addison-Wesley.

J.N. Nielsen, *Missile aerodynamics*, McGraw-Hill.

M. Hemsh, J. Nielsen, *Tactical missile aerodynamics*, AIAA vol. 104, Washington.

## B 1530 Economia ed organizzazione aziendale

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 50 esercitazioni 50 (settimanali 4/4)

Prof. Gianni Guerra (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

L'obiettivo del corso consiste nel far acquisire ai partecipanti i fondamentali economico-finanziari ed organizzativi della realizzazione e commercializzazione di beni e servizi. Viene data particolare enfasi al caso del settore aeronautico e spaziale.

### PROGRAMMA

A. *L'impresa nel sistema economico.*

Il sistema economico ed il sistema delle imprese, lo schema operativo, le finalità e le caratteristiche gestionali delle imprese. Il caso del settore aerospaziale.

B. *I fondamentali economico-finanziari.*

L'impresa come investimento, analisi economico-finanziaria su archi temporali parziali e sul ciclo di vita. L'impiego di dati economico-finanziari nelle decisioni gestionali. I costi operativi diretti ed indiretti degli aeromobili: analisi dell'influenza dei requisiti di impiego e di progetto.

C. *La programmazione ed il controllo della gestione.*

Le componenti e lo schema logico del controllo di gestione, il controllo strategico ed il controllo operativo. Il controllo delle iniziative: il *project management*.

D. *I fattori di competitività.*

Gli scenari competitivi, i fattori critici di successo esterni e le aree di prestazioni interne. Il profilo strategico dell'impresa, la struttura organizzativa, i sistemi operativi, i fattori umani. L'ottimizzazione economica dei prodotti: la qualità totale e l'ingegneria-analisi del valore.

## B 1800 Endoreattori

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 30

Docente da nominare

Il corso descrive i diversi tipi di endoreattori e ne studia le prestazioni per evidenziare le rispettive possibilità di impiego in campo spaziale. Ai propulsori chimici, attualmente di predominante importanza, e alle loro problematiche è riservata la maggiore attenzione. Sono comunque esaminati anche i propulsori elettrici e nucleari, di imminente probabile impiego.

REQUISITI. Per una proficua partecipazione sono di utilità le nozioni fornite nei corsi di *Propulsione aerospaziale* e *Motori per aeromobili*.

### PROGRAMMA

Classificazione degli endoreattori; definizioni di parametri per la valutazione delle prestazioni.

Calcolo delle condizioni in camera di combustione.

Espansione isentropica dei gas nell'ugello; velocità di efflusso, spinta, coefficiente di spinta; efflusso reale; geometrie di impiego corrente.

Propellenti liquidi; prestazioni e criteri di scelta; propellenti ipergolici; monopropellenti; processo di combustione; instabilità di combustione. Camera di spinta; sistema di iniezione e di accensione. Scambi termici; refrigerazione rigenerativa. Sistemi di alimentazione per pressurizzazione; sistemi di alimentazione con turbopompe; descrizione

dei componenti e problemi di cavitazione. Controllo della direzione e del modulo della spinta.

Propellenti solidi: classificazione e caratteristiche; proprietà balistiche dei propellenti solidi; meccanismo di combustione; instabilità di combustione; accensione e spegnimento; geometrie usuali del grano di propellente; processi di produzione; materiali e particolarità costruttive di involucri ed ugelli. Controllo delle direzione della spinta.

Propellenti ibridi: meccanismo di combustione.

Propulsori elettrici: arcogetti e resistogetti; propulsori elettrostatici con produzione di ioni per bombardamento o per contatto; propulsori magnetoplasmadinamici. Produzione di energia elettrica.

Prospettive della propulsione nucleare.

ESERCITAZIONI. Calcolo in sede di progetto delle prestazioni di endoreattori.

#### BIBLIOGRAFIA.

G.P. Sutton, *Rocket propulsion elements*, 6th ed., Wiley, New York, 1992.

## B 2120 Fluidodinamica delle turbomacchine

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 50 esercitazioni 50 (settimanali 4/4)

Prof. Luca Zannetti (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso si propone di completare le conoscenze generali, acquisite dagli allievi ingegneri aeronautici negli insegnamenti di macchine, con le nozioni necessarie alla progettazione delle turbomacchine e alla previsione delle loro prestazioni. Elementi dell'aerodinamica classica, quali il flusso potenziale incompressibile e il flusso irrotazionale compressibile supersonico, vengono richiamati ed applicati allo studio delle turbomacchine.

REQUISITI. Le nozioni contenute nel corso di *Macchine*.

#### PROGRAMMA

Richiami di termodinamica.

Elementi di meccanica dei fluidi e loro applicazione allo studio di schiere di profili: le equazioni di Eulero; le equazioni del potenziale di velocità e della funzione di corrente; il potenziale complesso; il campo di moto attorno a profili isolati e in schiera col metodo delle trasformazioni conformi.

Valutazione empirica degli effetti della viscosità e della compressibilità sulla prestazioni di schiere di profili.

La soluzione del problema diretto e inverso per schiere di profilo per mezzo di correlazioni sperimentali.

L'equilibrio radiale.

Criteri di svergolamento.

Fenomeni di stallo e pompaggio in compressori assiali.

Elementi di aerodinamica supersonica: le linee di Mach; onde d'urto; il metodo delle caratteristiche.

Fenomeni connessi a correnti supercritiche e supersoniche su schiere di profili.

L'incidenza unica.

#### BIBLIOGRAFIA

J.H. Horlock, *Axial flow compressors*, Butterworths, London, 1958.

J.H. Horlock, *Axial flow turbines*, Butterworths, London, 1958.

G.F. Wislicenus, *Fluid mechanics of turbomachinery*, Dover, New York, 1965.

## B 2222 Gasdinamica 2

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 48 esercitazioni 24 (settimanali 4/2)

Prof. Massimo Germano (Ing. aeronautica e spaziale)

Scopo del corso è quello di approfondire alcuni aspetti tipici del moto dei fluidi quali la dinamica della vorticità, la dinamica della turbolenza e gli effetti di gas reale.

Le conoscenze acquisite vengono applicate allo studio di scie e flussi separati, getti e strati limite turbolenti, e al problema del rientro.

REQUISITI. *Aerodinamica e Gasdinamica.*

### PROGRAMMA

Sistemi di riferimento. Coordinate curvilinee. Descrizione lagrangiana ed euleriana. Evoluzione di punti, linee e superfici materiali.

Equazioni di bilancio, legami termodinamici e relazioni costitutive. Parametri di similitudine. Cinematica della vorticità. Legge di Biot-Savart. Dinamica della vorticità.

Equazione di Helmholtz. Vorticità aderente e libera. Dinamica della vorticità nel piano. Metodi lagrangiani di calcolo. Dinamica della vorticità nello spazio. Struttura vorticiosa di scie e flussi separati e loro simulazione numerica.

Diffusione della vorticità. Moti di taglio. Diffusione e convezione della vorticità. Metodi di calcolo numerico. Strati limite laminari. Intensificazione della vorticità, instabilità e transizione della turbolenza.

Fenomenologia della turbolenza. Analisi dimensionale ed analisi spettrale. Approccio statistico e modelli di chiusura. Approccio diretto e metodi di simulazione numerica.

Struttura ed evoluzione dello strato limite. Criteri di instabilità, transizione e separazione. Metodi di calcolo. Topologia della separazione tridimensionale.

Effetti di gas reale. Numero di Knudsen. Gas rarefatti. Gas reagenti. Modelli termodinamici e termocinetici dell'aria. Effetti di gas reale durante il rientro.

BIBLIOGRAFIA Dispense compilate dal titolare del corso.

## B 3310 Meccanica del volo dell'elicottero

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 40 (settimanali 8/3)

Prof. Salvatore D'Angelo (Ing. aeronautica e spaziale)

La prima parte del corso è dedicata all'elica aeronautica e all'elica aeromotrice. Il corso espone le teorie che sono alla base del calcolo aerodinamica dell'elica e conduce alla messa a punto di programmi numerici di calcolo per il progetto dell'elica e per il calcolo delle sue caratteristiche al variare delle condizioni di funzionamento.

La seconda parte è dedicata all'elicottero, con particolare riferimento alle caratteristiche aerodinamiche della macchina ed al calcolo delle prestazioni della stessa (potenze richieste, quote di tangenza, autonomie, caratteristiche di autorotazione, ecc.).

Il corso si svolgerà con lezioni, esercitazioni e visite di istruzione, in particolare alla ditta Augusta.

REQUISITI. *Aerodinamica e aeronautica generale.*

**PROGRAMMA**

Generalità sull'elica aeronautica. Parametri caratteristici. Le diverse condizioni di funzionamento dell'elica. Teorie per il calcolo aerodinamico dell'elica (impulsiva, vorticale, alare). L'elica di minima resistenza indotta. Metodi di calcolo delle caratteristiche aerodinamiche al variare del passo e del rapporto di funzionamento. Scelta dell'elica nell'accoppiamento col motore. Sollecitazioni sulle pale e criteri per il disegno geometrico dell'elica. Dispositivi di variazione del passo meccanici, idraulici, elettrici.

L'elica autotrice per l'utilizzazione dell'energia eolica.

Descrizione dell'elicottero e dei suoi comandi. Meccanica del rotore e sistemi di incernieramento delle pale. Funzione del rotore di coda e soluzioni alternative. Metodi di controllo dell'assetto delle differenti realizzazioni dell'elica.

Il sostentamento a punto fisso ed il volo verticale uniforme. Parametri caratteristici del rotore.

Il moto orizzontale uniforme, compensazione del momento di rollio, passo ciclico e moto di flapping.

Potenze necessarie al volo e potenze disponibili al variare della quota. Volo uniforme ascendente, diagramma delle caratteristiche di volo. Velocità ascensionali massime e quote di tangenza assolute e pratiche.

L'autorotazione. L'effetto suolo. L'autonomia e la durata.

Carichi sul rotore e configurazioni di equilibrio. Gli elicotteri birotore. Generalità sui problemi di stabilità dell'elicottero.

**BIBLIOGRAFIA**

W.Z. Stepniewky, *Rotary wing aerodynamics*, vol. 1, NCR 3083, 1979.

C.N. Keys, *Rotary wing aerodynamics*, vol. 2, NCR 3082, 1979.

A. Gessow, G.C. Myers, *Aerodynamics of the helicopter*, McMillan, New York, 1952.

E. Pistolesi, *Aerodinamica*, UTET, Torino, 1932.

**B 3960 Principi di aeroelasticità**

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 12 (settimanali 7/1)

Prof. Gianfranco Chicchi (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso intende fornire le basi per la comprensione fisica dei principali fenomeni dovuti all'interazione tra le correnti fluide e le strutture elastiche sia in condizioni stazionarie, sia, soprattutto, in condizioni non stazionarie. Per ambedue i casi il corso si propone inoltre di fornire la metodologia di base per la rappresentazione matematica di tali fenomeni e la soluzione delle equazioni che da questa discendono. Data l'importanza per gli aspetti dinamici dell'aeroelasticità, un certo numero di lezioni è dedicato all'esposizione di elementi di aerodinamica instazionaria.

**REQUISITI.** *Aerodinamica, Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata.*

**PROGRAMMA**

1. Definizione e classificazione dei fenomeni aeroelastici. Diagrammi funzionali ed operatori aeroelastici.
2. *Galloping* e *vortex shedding* in strutture aeronautiche e civili.

3. Richiami di elastomeccanica applicati ad ali e fusoliere. Equazioni differenziali e integrali dell'equilibrio elastico sia statico che dinamico. Coefficienti e funzioni di influenza per ali a sbalzo.
4. Principali metodi per la soluzione delle equazioni dell'aeroelasticità. Collocazione diretta e a mezzo di funzioni di forma e coordinate generalizzate. Metodo di Galerkin. Metodo di Rayleigh-Ritz.
5. Problemi aeroelastici statici piani: divergenza torsionale e inversione d'effetto delle superfici di comando.
6. Problemi aeroelastici statici per ali a medio-grande allungamento: divergenza torsionale ed effetto su questa della pianta a freccia, distribuzione simmetrica di portanza sull'ala deformata, distribuzione anti-simmetrica di portanza conseguente ad una manovra degli alettoni e perdita di efficacia degli stessi. Divergenza flessionale nelle fusoliere e nei vettori spaziali.
7. Equazioni generali del moto stazionario di un fluido ideale. Moti linearizzati. Classi di condizioni al contorno. Potenziale delle accelerazioni.
8. Campi incompressibili di moto instazionario. Moto accelerato intorno ad un cilindro: importanza del sistema di riferimento. Flussi con circolazione e rilasci di vorticità a valle. Forze virtuali. Campo di moto alla partenza impulsiva di una lamina piana: teoria di Wagner. Raffica a gradino e raffica generica. Campo di moto intorno a profili sottili in moto vario investiti da una corrente uniforme. Caso del moto armonico: soluzione di Kussner. Importanza degli sfasamenti tra spostamenti e forze aerodinamiche ai fini aeroelastici.
9. Campi compressibili linearizzati di moto instazionario. Equazione delle onde e sue soluzioni elementari. Effetto su queste di una corrente veloce. Campo intorno ad un profilo sottile in moto armonico investito da una corrente compressibile: equazione di Possio.
10. Problemi aeroelastici dinamici nel piano. Fenomenologia del *flutter* classico e sua interpretazione energetica. Equazioni del *flutter* piano e metodo  $U-g$  per la loro soluzione numerica. Analisi parametrica e criteri di prevenzione.
11. *Flutter* nelle ali a medio-grande allungamento, sia diritte che a freccia. Effetto della compressibilità e della quota. Cenni sul *flutter* dell'aereo complessivo.
12. *Flutter* di stallo e *flutter* dei pannelli. *Whirl-flutter* dei grandi rotori degli aerei V-STOL e degli aeromotori. *Buffeting*. *Buzz* e *buffeting* transonico.

## ESERCITAZIONI.

Metodi di calcolo e loro applicazione a strutture di tipo aeronautico.

## BIBLIOGRAFIA

Per gli argomenti strettamente aeroelastici, il contenuto del corso è illustrato nel testo G. Chiochia, *Principi di aerolasticità*, Levrotto & Bella, Torino, 1990 mentre gli argomenti di aerodinamica instazionaria sopra citati ai punti 7, 8 e 9 sono raccolti in dispense fornite a cura del docente.

## B 4190 Progettazione di strutture aerospaziali

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 20 laboratori 12 (settimanali 6/2)

Prof. Giulio Romeo (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso si propone di fornire agli allievi, dopo una descrizione della tecnologia di produzione delle strutture aeronautiche realizzate in materiale composito, una conoscenza sulla progettazione di elementi di tali strutture prendendo in esame le teorie relative ai materiali non isotropi.

**REQUISITI.** *Scienza delle costruzioni, Costruzioni aeronautiche, Progetto di aeromobili.*

### PROGRAMMA

Tecnologia dei materiali compositi: produzione delle fibre costituenti il composito (fibre di grafite, aramide e boro). Composizione della matrice (resine epossidiche e poliammidiche). Lavorazione dei pre-impegnati. Polimerizzazione del composito. Caratteristiche meccaniche. Esempi di strutture realizzate in composito (timone DC-10, equilibratore e timone Boeing 767, deriva Lockheed L-1011, ala AV-8H Harrier, ecc.) e conseguente risparmio di massa rispetto alle strutture metalliche.

Teoria dei materiali compositi: micromeccanica della lamina. Caratteristiche meccaniche del composito, note che siano quelle dei due costituenti il materiale e la loro percentuale in volume.

Macromeccanica della lamina. Costanti elastiche per materiali ortotropi. Relazione tensione-deformazione per una lamina con fibre orientate in direzione arbitraria. Macromeccanica di un laminato. Teoria classica secondo le ipotesi di Kirchhoff-Love. Rigidezze estensionali, di accoppiamento e flessionali di un multistrato con orientazione arbitraria delle fibre. Modi di rottura e criteri di rottura di un laminato multistrato. Effetti igrotermici sulla stabilità dimensionale.

Limiti di stabilità elastica dei pannelli ortotropi soggetti a compressione e/o taglio.

Progetto di pannelli irrigiditi soggetti a trazione, compressione e taglio. Instabilità flessotorsionale (teoria di Wagner) dei pannelli irrigiditi. Ottimizzazione della massa minima.

Progetto dei pannelli *sandwich*. Metodi di Reyleigh-Ritz e di Galerkin. Metodi energetici applicati all'analisi statica e dinamica dei pannelli anisotropi e *sandwich* curvi.

Effetti di taglio trasversali. Analisi non lineare. Cassoni alari soggetti a flessione e torsione pura.

### ESERCITAZIONI.

Calcoli numerici sugli argomenti trattati nel corso e elaborazione programma di calcolo per l'ottimizzazione della massa minima di pannelli irrigiditi.

### LABORATORI.

Realizzazione di pannelli, semplici o irrigiditi e di cassoni alari e relative prove di rottura, secondo le ricerche in corso nel Dipartimento.

### BIBLIOGRAFIA

G. Romeo, *Tecnologia dei materiali compositi grafite-resina e loro applicazioni nell'industria aeronautica*, appunti del corso.

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

## B 4260 Progetto dei sistemi aerospaziali

Anno: periodo 5:2

Prof. Ettore Antona (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso intende specializzare alle realizzazioni in campo spaziale i concetti relativi al progetto. Quale indicazione di massima, il corso spazia dai veicoli transatmosferici, che pure hanno ampie problematiche comuni agli aeromobili, alle missioni spaziali di vario genere, nell'ambito del sistema solare.

### PROGRAMMA

#### *Il progetto del progetto*

Considerazioni generali (cosa significa progettare). Tipi di missione e classificazione. L'ambiente: il sistema solare, le radiazioni e i meteoriti. Fasi del progetto. Filosofia dei modelli e tecniche di prova.

#### *I sistemi aerospaziali*

Principi di funzionamento e di azionamento. La creazione delle forze. Lo sfruttamento di forze e potenziali naturali.

#### *Sicurezza, affidabilità e concetti affini*

Definizioni e concetti generali. Sicurezza: fonti delle prescrizioni di sicurezza; sicurezza delle radiazioni; sicurezza della missione; sistemi di salvataggio degli equipaggi. Affidabilità. Manutenibilità. Metodi per l'ottenimento e l'elaborazione di dati statistici.

#### *Aspetti aerodinamici e fluidodinamici del progetto*

Problemi della traiettorie d'uscita. Problemi delle traiettorie di rientro. Problemi del volo transatmosferico. Aerodinamica interna.

#### *Traiettorie, manovre e stabilità*

Meccanica del volo spaziale. Manovre. Stabilità delle traiettorie e loro controllo. Stabilità d'assetto e suo controllo.

#### *Progetto strutturale*

Carichi: statici e dinamici. Controllo modale. Determinazione degli stati di sollecitazione ammissibili. Sicurezza delle strutture.

#### *Impianti*

Controllo termico. Generazione di potenza. Telemetria e telecomando. Gestione dei dati.

## B 5100 Sperimentazione di volo

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 26 (settimanali 4/2)

Prof. Piero Gili (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso si propone di approfondire alcuni argomenti fondamentali della meccanica e della dinamica del volo, tenendo conto che si trova a completamento di un orientamento nel quale sono già stati dati allo studenti i concetti fondamentali di dette materie.

Dopo una parte introduttiva sulla definizione delle prestazioni di volo in parametri adimensionali e sulle finalità e sui metodi della sperimentazione di volo, vengono presi in considerazione i metodi classici per determinare quelle derivate aerodinamiche che intervengono nel moto longitudinale e latero-direzionale nella supposizione delle piccole perturbazioni. Si prendono altresì in considerazione gli elementi di valutazione delle qualità di volo del velivolo. Vengono anche fatti alcuni cenni sulle possibili indagini, con prove di volo, su fenomeni vibratorii.

### PROGRAMMA

Questioni introduttive: definizione e misura delle grandezze di velocità rispetto all'aria, di pressione e temperatura dell'aria esterna; sistemi di misura del 1° e 2° ordine usati nei rilievi di volo; prestazioni di volo in parametri adimensionali e generalizzati; il problema della sperimentazione di un prototipo, equilibramento longitudinale di un velivolo, analisi dell'equazione di equilibrio dei momenti longitudinali, significato delle derivate aerodinamiche che compaiono, analisi di una tipica sperimentazione relative all'equilibramento longitudinale, forze di equilibramento longitudinale; effetto della vicinanza del terreno sull'equilibramento longitudinale di un velivolo; manovra longitudinale stabilizzata di un velivolo, momenti di cerniera delle superfici di comando, sensibilità artificiale.

Determinazione delle derivate aerodinamiche: moto di beccheggio, eccitazione di tipo sinusoidale, eccitazione a impulso, eccitazione a gradino; determinazione dei coefficienti di risposta del sistema con il metodo della trasformata di Fourier, della trasformata di Laplace e mediante il rilievo dei valori delle variabili di volo; determinazione di singole derivate aerodinamiche mediante l'analisi dei coefficienti di risposta e mediante il rilievo simultaneo di serie di valori delle variabili di volo; metodi semplificati per la misura di particolari derivate aerodinamiche; metodo vettoriale per l'analisi di moti oscillatori di piccola perturbazione; considerazioni su frequenze proprie e smorzamenti di moti di corto periodo; metodi per la determinazione di derivate aerodinamiche con prove di volo, prove di volo in condizioni stabilizzate e non stabilizzate.

Elementi di valutazione delle qualità di volo dei velivoli: requisiti normativi delle qualità di volo, rapporto pilota-velivolo in manovra longitudinale, messa a punto dello smorzamento longitudinale di un velivolo; indagine sui fenomeni vibratorii, prove a terra e sperimentazione in volo.

### BIBLIOGRAFIA

C.D. Perkins, R. Hage, *Airplane performance stability and control*, Wiley, New York.  
B. Etkin, *Dynamics of flight : stability and control*, Wiley, New York.

## B 5230 Strumentazione aeronautica

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 76 esercitazioni 20 laboratori 4 (settimanali 6/2)

Prof. Lorenzo Borello (Ing. aeronautica e spaziale)

Scopo del corso è fornire le cognizioni sulla strumentazione aeronautica e l'avionica in genere indispensabili alla comprensione dei suoi principi di funzionamento, dei suoi problemi di progettazione e costruzione e alla valutazione delle sue prestazioni, nell'ambito del progetto, della produzione e dell'impiego dell'aeromobile. Il corso verte su lezioni, esercitazioni e analisi dal vero.

**REQUISITI.** Materia spiccatamente interdisciplinare, richiede nozioni di *Meccanica applicata*, *Fluidodinamica*, *Meccanica del volo* (prestazioni e qualità di volo), *Elettrotecnica* e concetti basilari di elettronica.

### PROGRAMMA

Concetti di sistemi di bordo, avionica, comandi di volo e strumenti di bordo; generalità sui tipici problemi della strumentazione, dei componenti e dei sottosistemi. Il problema del rapporto uomo-macchina.

Problematica della presentazione di dati.

Strumenti ed apparati di pilotaggio e controllo del velivolo: *damper*, SAS; comandi, CAS, CSAS, FBW, FBL, ACT, CCV, sensibilità artificiale, autopiloti; *air data system*, sensori, *input*, *output*; strumenti di riferimento d'assetto, indicatori di angolo di sbandamento e di virata, orizzonti artificiali.

Strumenti di controllo per motori ed impianti.

Strumenti di navigazione: bussole magnetiche; navigatori inerziali, tipi, misure, componenti, loro funzioni e integrazioni.

Elementi di radionavigazione: concetti di radiotrasmissione; navigazione polare: NDB-ADF, VOR-DME, TACAN; navigazione iperbolica: LORAN, DECCA, OMEGA; navigazione satellitare: TRANSIT, CPS; sistemi autosufficienti: DOPPLER; sistemi di atterraggio: ILS, MLS; RADAR, RADAR secondari e *transponder*.

**ESERCITAZIONI.** Consistono in analisi della documentazione tecnica disponibile, nell'esecuzione di calcoli numerici e nell'uso di programmi di simulazione su calcolatore relativi a sistemi e componenti significativi.

### BIBLIOGRAFIA

Pallett, *Aircraft instruments*, Pitman, ed. 1972 e successive.

Kayton, Fried, *Avionics navigation systems*, Wiley, New York, 1969.

Gracey, *Measurement of aircraft speed and altitude*, Wiley, New York.

G. Villa, *Dispense sui sistemi di navigazione*.

Documentazione fornita durante il corso.

## B 5640 Tecnologia meccanica

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 48 (settimanali 4/4)

Prof. Francesco Spirito (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

Obiettivi del corso sono: fornire l'insieme di nozioni necessarie a comprendere come possa essere utilizzato e prodotto un particolare meccanico; analizzare i diversi elementi componenti la macchina utensile in modo da fornire di quest'ultima una visione sistematica; studiare i fondamenti teorici dei processi di lavorazione con asportazione di materiale e per deformazione plastica; introdurre i primi rudimenti di gestione delle macchine utensili; presentare una panoramica delle lavorazioni non convenzionali.

**REQUISITI.** Capacità di lettura di un disegno tecnico e nozioni elementari sulle caratteristiche dei materiali metallici.

### PROGRAMMA

La prima parte del corso ha carattere prevalentemente propedeutico e dà un'ampia panoramica dei principali elementi componenti la macchina utensile; vengono altresì sviluppati gli aspetti teorici connessi alle operazioni di taglio con asportazione di materiale.

Ampio spazio viene dedicato alle macchine utensili a CN, sviluppandone sia l'aspetto costruttivo sia l'aspetto applicativo. Vengono trattate le basi del linguaggio di programmazione. In stretta connessione con le macchine a CN, si parla di sistemi integrati di produzione e di *computer assisted manufacturing* (CAM).

Vengono ancora trattate le lavorazioni per deformazione plastica vedendole come mezzo per l'ottenimento di semilavorati per le lavorazioni ad asportazione di truciolo. In questo capitolo del corso si dà un breve cenno delle lavorazioni sulle lamiere con particolare riferimento a quelle impiegate nell'industria aerospaziale.

La parte finale del corso è dedicata ad una panoramica delle tecnologie di lavorazione non convenzionali (EDM, ECM, laser, ecc.).

### ESERCITAZIONI.

Il corso è integrato da una serie di lezioni-esercitazioni attinenti la stesura di cicli di lavorazione e lo studio delle principali macchine universali impiegate nella produzione meccanica: torni, trapani, fresatrici, alesatrici, rettificatrici.

### BIBLIOGRAFIA

G.F. Micheletti, *Il taglio dei metalli e le macchine utensili*, UTET, Torino.

R. Ippolito, *Appunti di tecnologia meccanica*, Levrotto & Bella, Torino, 1974.

R. Ottone, *Macchine utensili a comando numerico*, ETAS Kompass.

## B 6100 Fluidodinamica dei sistemi propulsivi

Anno: periodo SIA 2:1 Impegno (ore): lezioni 50 esercitazioni 25 (settimanali 4/2)

Prof. Luca Zannetti (Ing. aeronautica e spaziale)

Scopo del corso è la presentazione dei principali problemi fluidodinamici connessi al progetto e all'analisi di sistemi propulsivi aeronautici e spaziali.

Il corso, formalmente strutturato in lezioni ed esercitazioni, 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. Terminali collegati a un calcolatore 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.

### REQUISITI.

Il corso si intende rivolto ad allievi che posseggano le nozioni fondamentali relative alle macchine a fluido in generale e agli endoreattori in particolare; torna di utilità a questo fine la conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di *Macchine, Motori per aeromobili, Tecnica degli endoreattori, Aerodinamica, Gasdinamica*.

### PROGRAMMA

Richiami di fluidodinamica del flusso ideale compressibile, non viscoso.

Elementi di fluidodinamica per flussi bifase e per flussi reagenti.

Approssimazione numerica alle differenze finite di campi di moto supersonici stazionari.

Approssimazione numerica con tecnica "dipendente dal tempo" di campi stazionari misti subsonici-supersonici.

Formulazioni conservative e quasi lineari delle equazioni del moto.

Soluzioni deboli e loro approssimazione numerica.

Flussi interni bidimensionali e tridimensionali in prese d'aria, camere di combustione e ugelli. Ugelli con sommergenza.

Discretizzazione dei campi a geometria complicata.

Generazione analitica e numerica di griglie di calcolo.

Problemi inversi per condotti e loro soluzione numerica.

Struttura e calcolo di getti supersonici bidimensionali piano o assialsimmetrici.

interferenza tra flusso esterno e getto.

Il problema dell'*after-body*.

**ESERCITAZIONI.** Gli allievi eseguiranno calcoli numerici sugli specifici argomenti trattati nelle lezioni: in particolare sarà sviluppato lo studio numerico di ugelli.

## B 2140 Fluidodinamica sperimentale

Anno:periodo SIA 2:1

Docente da nominare

Il corso è di carattere teorico-sperimentale (circa un terzo delle lezioni è costituito da dimostrazioni pratiche in laboratorio) e si propone di illustrare i principali impianti e le apparecchiature tecniche di misura peculiari della sperimentazioni fluidodinamica; sono fornite le nozioni fondamentali per la progettazione degli impianti e le tecniche per il rilevamento e l'elaborazione numerica dei dati.

### PROGRAMMA

Misure di velocità e di pressione. Misure di inclinazione del vettore velocità.

Misuratori di portata e diaframma, a tubo Venturi e a galleggiante.

Manometri e trasduttori di pressione.

Misure di turbolenza; anemometro a filo caldo e anemometro *laser* Doppler

Misure di temperatura; determinazione del fattore di recupero, del numero di Nusselt e del numero di Reynolds critico.

Misure delle forze aerodinamiche; bilance a contrappesi e bilance ad estensimetri.

Metodi di visualizzazione delle correnti fluide. Metodi ottici.

Misure delle derivate di stabilità. Leggi di similitudine e teoria dei modelli.

Gallerie subsoniche: fattore di potenza. Criteri di progetto.

Gallerie per veicoli V/STOL. Gallerie aerodinamiche per autoveicoli.

Gallerie per prove su strutture civili e industriali.

Gallerie transoniche a pareti perforate o fessurate.

Gallerie autocompensanti.

Gallerie supersoniche continue ed intermittenti. Progetto dell'ugello con il metodo delle caratteristiche.

Simulazione ipersonica. Gallerie ipersoniche convenzionali, gallerie ad arco, tubo d'urto, gallerie ad urti, lanciatori iperveloci.

Analogie idraulica e reoelettrica. Apparato Hele-Shaw.

Sistemi automatici di registrazione ed elaborazione dei dati.

### BIBLIOGRAFIA

Dispense redatte dal docente.

Rebuffet, *Aérodynamique expérimentale, vol. 1. e 2.*, Dunod, Paris.

Landerburg [et al.], *Physical measurements in gas dynamics and combustion*, Princeton Series, Vol. 9.

Pope-Goin, *High speed wind tunnel testing*, Wiley.

## B 6110 Propulsori astronautici

Anno:periodo SIA 2:1

Prof. Guido Colasurdo (Energetica)

Lo scopo del corso è la presentazione dei propulsori elettrici e nucleari per uso astronautico e la comprensione del loro funzionamento e del loro campo di prestazioni. Si ritiene consigliabile la frequenza a chi abbia interesse a conoscere i probabili propulsori per le missioni astronautiche del futuro, nonché i moderni mezzi per il controllo ad assetto dei satelliti terrestri.

**REQUISITI.** Per una proficua partecipazione al corso è utile avere conoscenza di base di gasdinamica e di propulsione aerea, nonché di elettromagnetismo.

### PROGRAMMA

1. Introduzione e richiamo di nozioni fondamentali.
2. Propulsione elettrotermica.
3. Propulsione elettrostatica.
4. Propulsione elettromagnetica stazionaria.
5. Propulsione elettromagnetica non stazionaria.
6. Propulsori nucleari.
7. Cenni sui mezzi di generazione di potenza nello spazio.
8. Cenni sull'analisi delle missioni spaziali con spinte di basso livello ma prolungate nel tempo.

### ESERCITAZIONI.

Le esercitazioni consistono nella soluzione di problemi relativi al funzionamento dei propulsori sia elettrici che nucleari; in particolare si valutano numericamente le prestazioni dei vari propulsori e se ne effettua un dimensionamento di massima, con riferimento alle caratteristiche di impiego prevedibili.

### BIBLIOGRAFIA

R.G. Jahn, *Physics of electric propulsion*, McGraw-Hill.

## B 5370 Strutture spaziali

Anno:periodo SIA 2:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2

Prof. Marco Di Sciuva (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso si propone di fornire agli allievi gli strumenti metodologici, analitici e/o numerici che consentono di formulare un modello matematico di un certo problema fisico e di ottenere soluzioni in forma chiusa o di tipo numerico. Vengono in particolare affrontate e sviluppate le tematiche termostrutturali di tipici componenti di sistemi spaziali. Ogni formulazione o metodo di risoluzione approssimato viene confrontato, ove possibile, con la formulazione o soluzione esatta, allo scopo di evidenziare i limiti e/o i pregi dei primi.

**REQUISITI.** *Matematica applicata, Gasdinamica, Scienza delle Costruzioni, Costruzioni aeronautiche, Progetto di aeromobili.*

**PROGRAMMA**

Richiami di algebra matriciale e di analisi funzionale.

Formulazione variazionale del problema termostutturale. Formulazioni assiomatiche delle teorie lineari di strutture composite multistrato in parete sottile.

Rassegna dei principali procedimenti approssimati per la risoluzione dei problemi termostrutturali: il metodo dei residui pesati, i metodi variazionali, il metodo degli elementi finiti, il metodo delle differenze finite. Confronto fra i vari procedimenti.

La risposta dinamica ed il controllo modale. Modelli per l'analisi dello smorzamento. La dinamica delle strutture a geometria variabile.

Il concetto di stabilità ed i criteri di stabilità. Sensibilità alle imperfezioni iniziali di forma. Alcuni problemi tipici di stabilità di piastre e gusci in materiale composito multistrato. Gli effetti delle condizioni di vincolo e della deformabilità a taglio trasversale sui carichi critici.

Analisi termostutturale di tipiche strutture aerospaziali.

**R 2090 Fluidodinamica ambientale**

Anno:periodo SIA 2:2 Impegno (ore): lezioni 72 (settimanali 6)

Prof. Claudio Cancelli (Ing. aeronautica e spaziale)

Materia del corso è la dinamica dei moti naturali dell'atmosfera e delle acque.

Il corso è organizzato attorno ad un nucleo fisso, composto dalla teoria fondamentale dei moti fluidi, a cui si aggiunge una parte a carattere monografico che può esser variata di anno in anno. Elementi fondamentali del corso sono la genesi e l'evoluzione della vorticità, la convezione naturale, la propagazione di onde, le caratteristiche dei flussi turbolenti con un particolare riguardo alla loro capacità di dispersione.

REQUISITI. I corsi di fisica e matematica del biennio.

**PROGRAMMA**

Le equazioni fondamentali dei moti di fluido.

Moti vorticosi: genesi ed evoluzione della vorticità.

Fluidi stratificati: instabilità statica, convezione naturale.

La dinamica della propagazione delle onde.

Moti turbolenti: aspetti di caos e ordine, descrizione statistica.

Moti naturali parzialmente turbolenti: la teoria dei getti e delle termiche.

Dispersione turbolenta: statistica di una classe di traiettorie, il processo di Wiener, il modello diffusivo, proprietà e limiti del modello.

Innalzamento degli effluenti gassosi.

Meccanismi di deposizione al suolo di particelle sospese.

**BIBLIOGRAFIA**

R.S. Scorer, *Environmental aerodynamics*, Ellis Horwood, Chichester, 1978.

D.J. Tritton, *Physical fluid dynamics*, Van Nostrand Reinhold, London, 1980.



## Indice alfabetico degli insegnamenti

<i>pag.</i>	<i>corso</i>	<i>anno:periodo</i>
22	B0050 Aerodinamica	3:1
35	B0052 Aerodinamica 2	5:1
42	B0080 Aerodinamica sperimentale	5:2
43	B0090 Aeroelasticità applicata	5:2
13	B0231 Analisi matematica 1	1:1
18	B0232 Analisi matematica 2	2:1
25	B0510 Calcolo numerico	3:2
14	B0620 Chimica	1:1
32	B0940 Costruzione di macchine	4:2
25	B1030 Costruzioni aeronautiche	3:2
44	B1032 Costruzioni aeronautiche 2	5:2
35	B1250 Dinamica del volo	5:1
45	B1260 Dinamica del volo spaziale	5:2
15	B1430 Disegno tecnico industriale	1:2
46	B1530 Economia ed organizzazione aziendale	5:2
29	B1710 Elettronica applicata	4:1
20	B1790 Elettrotecnica	2:2
46	B1800 Endoreattori	5:2
16	B1901 Fisica 1	1:2
18	B1902 Fisica 2	2:1
23	B2060 Fisica tecnica	3:1
59	R2090 Fluidodinamica ambientale	SIA 2:2
56	B6100 Fluidodinamica dei sistemi propulsivi	SIA 2:1
47	B2120 Fluidodinamica delle turbomacchine	5:2
57	B2140 Fluidodinamica sperimentale	SIA 2:1
19	B2170 Fondamenti di informatica	2:1
33	B2220 Gasdinamica	4:2
48	B2222 Gasdinamica 2	5:2
17	B2300 Geometria	1:2
36	B2570 Impianti aeronautici	5:1

29	B3110	Macchine	4:1
26	B3170	Matematica applicata	3:2
27	B3210	Meccanica applicata alle macchine	3:2
30	B3300	Meccanica del volo	4:1
48	B3310	Meccanica del volo dell'elicottero	5:2
20	B3370	Meccanica razionale	2:2
37	B3830	Motori per aeromobili	5:1
49	B3960	Principi di aeroelasticità	5:2
51	B4190	Progettazione di strutture aerospaziali	5:2
38	B4200	Progettazione e costruzione di macchine speciali	5:1
52	B4260	Progetto dei sistemi aerospaziali	5:2
39	B4280	Progetto di aeromobili	5:1
41	B4380	Propulsione aerospaziale	5:1
58	B6110	Propulsori astronautici	SIA 2:1
23	B4600	Scienza delle costruzioni	3:1
21	B4620	Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali	2:2
53	B5100	Sperimentazione di volo	5:2
54	B5230	Strumentazione aeronautica	5:2
42	B5330	Strutture aeronautiche	5:1
58	B5370	Strutture spaziali	SIA 2:1
55	B5640	Tecnologia meccanica	5:2
34	B5660	Tecnologie delle costruzioni aeronautiche	4:2
28	B5930	Teoria matematica dei controlli	3:2

## Indice alfabetico dei docenti

<i>pag.</i>	<i>Docente</i>	<i>corso</i>	<i>anno-periodo</i>
21	Abbattista, Fedele (Chimica)	B4620 Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali	2:2
52	Antona, Ettore (Aeronautica)	B4260 Progetto dei sistemi aerospaziali	5:2
39	=	B4280 Progetto di aeromobili	5:1
29	Arcidiacono, Alfio (Aeronautica)	B1710 Elettronica applicata	4:1
28	Bacciotti, Andrea (Matematica)	B5930 Teoria matematica dei controlli	3:2
54	Borello, Lorenzo (Aeronautica)	B5230 Strumentazione aeronautica	5:2
37	Bussi, Giuseppe (Energetica)	B3830 Motori per aeromobili	5:1
59	Cancelli, Claudio (Aeronautica)	R2090 Fluidodinamica ambientale	SIA 2:2
13	Canuto, Claudio (Matematica)	B0231 Analisi matematica 1	1:1
25	=	B0510 Calcolo numerico	3:2
20	Chiampi, Mario (Ing. elettrica)	B1790 Elettrotecnica	2:2
36	Chiesa, Sergio (Aeronautica)	B2570 Impianti aeronautici	5:1
49	Chiocchia, Gianfranco (Aeronautica)	B3960 Principi di aeroelasticità	5:2
34	Clerico, Margherita (Aeronautica)	B5660 Tecnologie delle costruzioni aeronautiche	4:2
41	Colasurdo, Guido (Energetica)	B4380 Propulsione aerospaziale	5:1
58	=	B6110 Propulsori astronautici	SIA 2:1
48	D'Angelo, Salvatore (Aeronautica)	B3310 Meccanica del volo dell'elicottero	5:2
42	Di Sciuva, Marco (Aeronautica)	B5330 Strutture aeronautiche	5:1
58	=	B5370 Strutture spaziali	SIA 2:1
18	Galizia Angeli, Maria Teresa (Matematica)	B0232 Analisi matematica 2	2:1
38	Genta, Giancarlo (Meccanica)	B4200 Progettazione e costruzione di macchine speciali	5:1
33	Germano, Massimo (Aeronautica)	B2220 Gasdinamica	4:2
48	=	B2222 Gasdinamica 2	5:2
30	Gili, Piero (Aeronautica)	B3300 Meccanica del volo	4:1
53	=	B5100 Sperimentazione di volo	5:2
32	Gola, Muzio M. (Meccanica)	B0940 Costruzione di macchine	4:2
46	Guerra, Gianni (Sist. produzione)	B1530 Economia ed organizzazione aziendale	5:2

19	Laurentini, Aldo (Autom. inform.)	B2170	Fondamenti di informatica	2:1
23	Leporati, Ezio (Ing. strutturale)	B4600	Scienza delle costruzioni	3:1
16	Miraldi, Elio (Fisica)	B1901	Fisica 1	1:2
25	Morelli, Piero (Aeronautica)	B1030	Costruzioni aeronautiche	3:2
35	=	B1250	Dinamica del volo	5:1
29	Nuccio, Patrizio (Energetica)	B3110	Macchine	4:1
42	Onorato, Michele (Aeronautica)	B0080	Aerodinamica sperimentale	5:2
15	Orlando, Maurizio (Sist. produzione)	B1430	Disegno tecnico industriale	1:2
35	Pandolfi, Maurizio (Aeronautica)	B0052	Aerodinamica 2	5:1
26	Pandolfi, Miriam (Matematica)	B3170	Matematica applicata	3:2
45	Quagliotti, Fulvia (Aeronautica)	B1260	Dinamica del volo spaziale	5:2
15	Quenda, Rita (Meccanica)	B1430	Disegno tecnico industriale	1:2
22	Quori, Fiorenzo (Aeronautica)	B0050	Aerodinamica	3:1
20	Riganti, Riccardo (Matematica)	B3370	Meccanica razionale	2:2
17	Rivolo, Maria Teresa (Matematica)	B2300	Geometria	1:2
51	Romeo, Giulio (Aeronautica)	B4190	Progettazione di strutture aerospaziali	5:2
23	Ruscica, Giuseppe (Energetica)	B2060	Fisica tecnica	3:1
55	Spirito, Francesco (Sist. produzione)	B5640	Tecnologia meccanica	5:2
43	Surace, Giuseppe (Aeronautica)	B0090	Aeroelasticità applicata	5:2
44	=	B1032	Costruzioni aeronautiche 2	5:2
18	Tartaglia, Angelo (Fisica)	B1902	Fisica 2	2:1
14	Vallino, Mario (Chimica)	B0620	Chimica	1:1
27	Vatta, Furio (Meccanica)	B3210	Meccanica applicata alle macchine	3:2
56	Zannetti, Luca (Aeronautica)	B6100	Fluidodinamica dei sistemi propulsivi	SIA 2:1
47	=	B2120	Fluidodinamica delle turbomacchine	5:2
20	Zavattaro, Maria Grazia (Matematica)	B3370	Meccanica razionale	2:2