



**POLITECNICO  
DI TORINO**

# INGEGNERIA AEROSPAZIALE

INDICE ALFABETICO PER INSEGNAMENTO

151

**IL FACOLTÀ DI INGEGNERIA (SEDE DI VERCELLI)**

Presidente: prof. Antonio Gugliotta

Coordinatore

Corso di laurea

Prof. Riccardo Nerva  
Prof. Luigi Cimmarosa  
Prof. Maurizio Orlando

Ingegneria civile  
Ingegneria elettronica  
Ingegneria meccanica

Guida  
ai programmi  
dei corsi  
1998/99

## ■ LE GUIDE AI PROGRAMMI DEI 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 1998/99 sono attivati a Torino tredici corsi di laurea (elenco alla pagina a fronte). 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 40-60 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.

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 già dal DPR 20 maggio 1989<sup>2</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>3</sup> di discipline affini.

Ogni Consiglio di corso di laurea può 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 nella Guida dello Studente-*Manifesto degli Studi*.

<sup>1</sup> Decreto Ministeriale del 22.05.1995, pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 166 del 18.07.1995.

<sup>2</sup> Pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 186 del 10.08.1989.

<sup>3</sup> Questi *gruppi* coincidono con quelli dei raggruppamenti concorsuali per i professori universitari.

## ■ FINALITÀ E ORGANIZZAZIONE DIDATTICA ■ LE GUIDE AI PROGRAMMI ■

### DEI VARI CORSI DI LAUREA

Scopo fondamentale del presente opuscolo è quello di orientare gli studenti nella scelta del piano di studi. 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.

Nel 1998/99 sono attivati a Torino tredici corsi di laurea (elenco alla pagina a fronte). Per per-  
tamenti. Dell'indirizzo eventualmente seguito viene fatta menzione nel certificato di laurea.

- 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 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").

## ■ GLI INSEGNAMENTI ■

Il nuovo ordinamento didattico prevede diversi tipi di insegnamenti, distinti in monodisciplinari, multidisciplinari e interdisciplinari (nel seguito indicati come corsi richiesti) 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 annuale. Un corso interdisciplinare è costituito da 40-60 ore di attività didattiche e corrisponde a mezza annuale. Un corso multidisciplinare è costituito da 80-120 ore di attività didattiche e corrisponde ad una annualità. Essi sono svolti - in moduli coordinati di almeno 30 ore ciascuno - da due o, al massimo, tre professori che fanno tutti parte della commissione d'esame.

Ogni corso di laurea corrisponde a 29 annualità complessive ripartite in ognuno dei cinque anni di corso, su due periodi didattici (detti anche improntamenti essenziali) ogni periodo didattico è di durata pari ad almeno 13 settimane effettive di attività. Un'altra novità introdotta dal DPR 30 maggio 1997 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 di discipline affini. Ogni Consiglio di corso di laurea può adeguare annualmente il piano degli studi alle nuove esigenze richieste dal rapido evolversi delle conoscenze e dagli sviluppi tecnologici. Entro 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 nella Guida dello Studente. Manifesto degli Studi.

<sup>1</sup> Decreto Ministeriale del 22.02.1997, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 166 del 18.07.1997.

<sup>2</sup> Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 166 del 18.07.1997.

<sup>3</sup> Questi gruppi coincidono con quelli dei raggruppamenti disciplinari per i professori universitari.

## ■ CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE

### PROFILO PROFESSIONALE

L'ingegneria aerospaziale 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/aerospaziali.

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 aerospaziale 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 aerospaziale 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 aerospaziali 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 aerospaziale e delle sue linee di sviluppo.

I possibili sbocchi per i laureati in Ingegneria aerospaziale 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 aerospaziale, 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 aerospaziali 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, della nuova figura professionale dell'ingegnere diplomato. In generale l'attività di progettazione aerospaziale

le richiede una base consolidata di conoscenza delle problematiche e delle linee di sviluppo della tecnica aerospaziale 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 produttive, 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.

## ■ CARATTERIZZAZIONE DEL CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE

La definizione della figura professionale dell'ingegnere aerospaziale, così come nasce dalle esigenze dei vari settori d'impiego, fa sì che il corso di laurea in Ingegneria aerospaziale 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 fondamenti 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 aerospaziale, 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:

- Aeroelasticità
- Aerodinamica
- Meccanica del volo
- Propulsione
- Sistemi
- Strutture

## ■ INSEGNAMENTI OBBLIGATORI

Le basi generali per la comprensione dei fenomeni fisici e chimici sono fornite in due corsi di *Fisica Generale* 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*),
- alle tecniche di rappresentazione (*Disegno tecnico aerospaziale*),
- 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 aerospaziale, 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.

## TESI DI LAUREA

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

Gli allievi che hanno deciso di optare per tale tesi devono farne domanda al Presidente del Consiglio di corso di laurea con modulo giallo in distribuzione presso la Segreteria Didattica Unificata Area-Sud indicando l'argomento e consegnarla alla medesima Segreteria almeno sei mesi prima dell'esame ed entro le date sotto riportate:

SESSIONE DI LAUREA		SCADENZA FOGLIO GIALLO	
1° Sessione 98/99	turno unico	febbraio 1999	4 settembre 1999
2° Sessione 98/99	1° turno	maggio 1999	13 novembre 1999
	2° turno	luglio 1999	15 gennaio 1999
3° Sessione 98/99	1° turno	ottobre 1999	16 aprile 1999
	2° turno	dicembre 1999	11 giugno 1999

Alla domanda di ammissione agli esami di laurea, da presentare in Segreteria Generale Studenti, devono inoltre, allegare il foglio bianco, in distribuzione presso la suddetta Segreteria, con l'indicazione dell'argomento della tesi svolta, controfirmato dal relatore.

Inoltre coloro che hanno consegnato il modulo giallo alla Segreteria Didattica Unificata, dovranno, prima della consegna della domanda di laurea alla Segreteria Didattica Generale Studenti, fare apporre sul foglio bianco della suddetta Segreteria Didattica Unificata, un visto attestante il regolare deposito, nei termini previsti, del modulo giallo.

Una copia della tesi firmata dal relatore, deve essere consegnata alla Segreteria Generale Studenti alcuni giorni prima dell'inizio della sessione di laurea e comunque non oltre la data riportata sulla Guida dello studente - Manifesto agli studi 1998-99; una copia firmata deve essere consegnata al Presidente del Consiglio del corso di laurea; una copia deve essere portata dal laureando alla seduta di laurea.

Tesi e sintesi devono essere redatte in fogli di formato UNI A4.

Y (1)	83170	Matematica applicata
Y (2)	83330	Strutture aeronautiche
Y (3)	84190	Progettazione di strutture aerospaziali
Y (4)	81032	Costruzioni aeronautiche II

### Scelta delle discipline umanistiche

UM001	Metodologia delle scienze naturali
UM002	Propedeutica filosofica
UM003	Sociologia del lavoro
UM004	Sociologia delle comunicazioni di massa
UM005	Storia della filosofia / Estetica (I)
UM006	Storia della tecnica
UM007	Teoria dei linguaggi
UM012	Lingua italiana con esercitazioni di stilistica
UM013	Applicazioni fisiche della teoria dei gruppi

## ■ QUADRO DIDATTICO DEGLI INSEGNAMENTI OBBLIGATORI ■

### Corso Di Laurea In Ingegneria Aerospaziale

Anno	1° periodo didattico		2° periodo didattico	
1	B0231	Analisi Matematica I	B2300	Geometria
	B0620	Chimica	B1901	Fisica generale I
2	B0232	Analisi matematica II	B2170	Fondamenti di informatica
	B1902	Fisica generale II	B3370	Meccanica razionale
	B1420	Disegno tecnico aerospaziale	B1790	Elettrotecnica
3	B0050	Aerodinamica	B4620	Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali
	B2060	Fisica tecnica	B2220	Gasdinamica
	B4600	Scienza delle costruzioni	B3210	Meccanica applicata alle macchine
4	Y (1)		Y (1)	
	BA410	Elettronica	B0940	Costruzioni di macchine
	B3110	Macchine	B1030	Costruzioni aeronautiche
	B3300	Meccanica del volo	B5660	Tecnologie delle costruzioni aeronautiche
5	B3830	Motori per aeromobili	B1530	Economia ed organizzazione aziendale
	B4280	Progetto di aeromobili	Y (3)	
	Y (2)		Y (4)	

Y (1,2,3,4): insegnamenti di orientamento

Ogni orientamento include quattro insegnamenti. Gli orientamenti proposti per l'a.a. 1998/99, sono i cinque di seguito elencati.

**Orientamento AEROELASTICITÀ**

Y (1)	<b>B3170</b>	Matematica applicata
Y (2)	<b>B3960</b>	Principi di aeroelasticità
Y (3)	<b>B5100</b>	Sperimentazione di volo
Y (4)	<b>B0090</b>	Aeroelasticità applicata

**Orientamento AEROGASDINAMICA**

Y (1)	<b>B0510</b>	Calcolo numerico
Y (2)	<b>B0052</b>	Aerodinamica II
Y (3)	<b>B2222</b>	Gasdinamica II
Y (4)	<b>B0080</b>	Aerodinamica sperimentale

**Orientamento MECCANICA DEL VOLO**

Y (1)	<b>B0510</b>	Calcolo numerico
Y (2)	<b>B1250</b>	Dinamica del volo
Y (3)	<b>B3310</b>	Meccanica del volo dell'elicottero
Y (4)	<b>B1252</b>	Dinamica del volo II

**Orientamento PROPULSIONE**

Y (1)	<b>B5930</b>	Teoria matematica dei controlli
Y (2)	<b>B4380</b>	Propulsione aerospaziale
Y (3)	<b>B2120</b>	Fluidodinamica delle turbomacchine
Y (4)	<b>B1800</b>	Endoreattori

**Orientamento SISTEMI**

Y (1)	<b>B5930</b>	Teoria matematica dei controlli
Y (2)	<b>B2570</b>	Impianti aeronautici
Y (3)	<b>B4260</b>	Progetto dei sistemi aerospaziali
Y (4)	<b>B5230</b>	Strumentazione aeronautica

**Orientamento STRUTTURE**

Y (1)	<b>B3170</b>	Matematica applicata
Y (2)	<b>B5330</b>	Strutture aeronautiche
Y (3)	<b>B4190</b>	Progettazione di strutture aerospaziali
Y (4)	<b>B1032</b>	Costruzioni aeronautiche II

**Tabella delle discipline umanistiche**

<b>UM001</b>	Metodologia delle scienze naturali
<b>UM002</b>	Propedeutica filosofica
<b>UM003</b>	Sociologia del lavoro
<b>UM004</b>	Sociologia delle comunicazioni di massa
<b>UM005</b>	Storia della filosofia / Estetica (i)
<b>UM006</b>	Storia della tecnica
<b>UM007</b>	Teoria dei linguaggi
<b>UM012</b>	Lingua italiana con esercitazioni di stilistica
<b>UM013</b>	Applicazioni fisiche della teoria dei gruppi

## ■ SCUOLA DI INGEGNERIA ASTRONAUTICA

Possono iscriversi al primo anno della *Scuola di ingegneria aeronautica* coloro che abbiano già conseguito una laurea in Ingegneria. I laureati 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.

Anno	1° periodo didattico		2° periodo didattico	
1	<b>B0050</b>	Aerodinamica	<b>B1030</b>	Costruzioni aeronautiche
	<b>B3830</b>	Motori per aeromobili	<b>B2220</b>	Gasdinamica
	<b>B4280</b>	Progetto di aeromobili	<b>B5660</b>	Tecnologie delle costruzioni aeronautiche
	<b>B3300</b>	Meccanica del volo		

#### 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.

#### 1. orientamento

2	<b>B0052</b>	Aerodinamica 2	<b>B5100</b>	Sperimentazione di volo
	<b>B2140</b>	Fluidodinamica sperimentale	<b>B2090</b>	Fluidodinamica ambientale
	<b>B6100</b>	Fluidodinamica dei sistemi propulsivi	<b>B2222</b>	Gasdinamica 2
	<b>B6110</b>	Propulsori astronautici	<b>B3960</b>	Principi di aeroelasticità
	<b>B4380</b>	Propulsione aerospaziale	<b>B1252</b>	Dinamica del volo 2
			<b>B1230</b>	Dinamica dei gas rarefatti
			<b>B2024</b>	Fisica a ingegneria dei plasmi +
			<b>B2026</b>	Fisica e ingegneria dei plasmi II

#### 2. orientamento

2	<b>BA310</b>	Elettronica	<b>B0090</b>	Aeroelasticità applicata
	<b>B2570</b>	Impianti aeronautici	<b>B1032</b>	Costruzioni aeronautiche 2
	<b>B5370</b>	Strutture spaziali	<b>B4190</b>	Progettazione di strutture aerospaziali
	<b>BA710</b>	Strutture aeromissilistiche	<b>B4260</b>	Progetto dei sistemi aerospaziali
			<b>B5230</b>	Strumentazione aeronautica

Per quanto riguarda i programmi dei singoli insegnamenti, questi sono riportati, nelle sezioni *Programmi degli insegnamenti*, insieme a quelli del corso di laurea in *Ingegneria aerospaziale*

Anno: 3      Periodo: 1  
Impiego (ore):      lezioni: 6      esercitazioni e laboratori: 2      (ore settimanali)  
Docente:      Firenze QUORI (collab.: Renzo Arina)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire agli studenti le nozioni di base della fluidodinamica del fluido non viscoso. Con riguardo al corso di laurea nel quale è inquadrato, il problema della determinazione della distribuzione di velocità subsonici e supersonici nonché il calcolo della resistenza d'onda (per moti supersonici).  
Prerequisiti.

### **PROGRAMMA**

- Parte introduttiva [12 ore]

Presentazione del corso. Definizioni di fluido ideale e fluido reale, portata, viscosità e conducibilità termica, particella fluida. Classificazione dei moti. Nomenclatura per ali e profili alari. Distribuzione di pressione su un profilo alare e calcolo di portanza, resistenza e momento. Trasposizione dei momenti. Freno e momento focale. Coefficienti adimensionali di forza e di momento e loro dipendenza dai numeri di Reynolds e di Mach.

Aerodinamica intuitiva. Linee di corrente, traiettorie, tubi di flusso. Andamento delle velocità attorno ad un profilo alare. Lo strato limite e le sue caratteristiche: transizione, separazione. La resistenza dei profili alari. Controllo dello strato limite.

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

- Equazioni generali della fluidodinamica [4 ore]

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

- Le funzioni di corrente e potenziale [6 ore]

Significato fisico e condizioni di esistenza delle funzioni di corrente e potenziale, loro proprietà e utilizzazione pratica. Calcolo di espressioni analitiche delle dette funzioni per corrente uniforme, sorgente e pozzo, vortice, doppietta. Polidrona. Il cilindro circolare, campo di moto attorno al cilindro con circuitazione. Determinazione dei punti di arresto e della distribuzione di pressione. Teorema di Kutta-Joukowski.

- Le trasformazioni conformi [8 ore]

Richiami sui numeri complessi e sulle funzioni di variabile complessa.

Regole di derivazione. Funzioni armoniche associate. Il potenziale complesso e la velocità complessa. Condizioni di conformità per una trasformazione. Punti critici. Conservazione del potenziale complesso. Origine della circuitazione, la condizione di Kutta. La trasformazione di Kutta-Joukowski. Studio della lamina piana, dell'arco di cerchio e di un generico profilo di Joukowski. Cenni su altre trasformazioni e sulle trasformazioni inverse.

- Teoria dei profili sottili subsonici [8 ore]

Ipotesi di Glauert. Distribuzioni di sorgenti e di vortici bidimensionali. Calcolo delle velocità davanti alle singolarità distribuite. Equazione di tangenza e coefficiente di pressione. Scelta delle singolarità atte a rappresentare un dato profilo. Profilo simmetrico investito senza incidenza. Lamina curva investita con incidenza. Incidenza ideale e incidenza di portanza nulla, profilo investito contemporaneamente da due correnti indisturbate. Problema inverso per profilo sottile.

## **B0050 AERODINAMICA**

Anno: 3      Periodo: 1  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni e laboratori: 2      (ore settimanali)  
Docente:      **Fiorenzo QUORI** (collab.: Renzo Arina)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

### **PROGRAMMA**

- Parte introduttiva [12 ore]

Presentazione del corso. Definizioni di fluido ideale e fluido reale, portata, viscosità e conducibilità termica, particella fluida. Classificazione dei moti. Nomenclatura per ali e profili alari. Distribuzione di pressione su un profilo alare e calcolo di portanza, resistenza e momento. Trasposizione dei momenti. Fuoco e momento focale. Coefficienti adimensionali di forza e di momento e loro dipendenza dai numeri di Reynolds e di Mach.

Aerodinamica intuitiva. Linee di corrente, traiettorie, tubi di flusso. Andamento delle velocità attorno ad un profilo alare. Lo strato limite e le sue caratteristiche: transizione, separazione. La resistenza dei profili alari. Controllo dello strato limite.

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

- Equazioni generali della fluidodinamica [4 ore]

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

- Le funzioni di corrente e potenziale [8 ore]

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

- Le trasformazioni conformi [8 ore]

Richiami sui numeri complessi e sulle funzioni di variabile complessa.

Regole di derivazione. Funzioni armoniche associate. Il potenziale complesso e la velocità complessa. Condizioni di conformità per una trasformazione. Punti critici. Conservazione del potenziale complesso. Origine della circuitazione. La condizione di Kutta. La trasformazione di Kutta-Joukowski. Studio della lamina piana, dell'arco di cerchio e di un generico profilo di Joukowski. Cenni su altre trasformazioni e sulle trasformazioni inverse.

- Teoria dei profili sottili subsonici [8 ore]

Ipotesi di Glauert. Distribuzioni di sorgenti e di vortici bidimensionali. Calcolo delle velocità dovute alle singularità distribuite. Equazione di tangenza e coefficiente di pressione. Scelta delle singularità atte a rappresentare un dato profilo. Profilo simmetrico investito senza incidenza. Lamina curva investita con incidenza. Incidenza ideale e incidenza di portanza nulla. Profilo investito contemporaneamente da due correnti indisturbate. Problema inverso per profili sottili.

- Il metodo dei pannelli [4 ore]

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

- Le ali di allungamento finito [10 ore]

Distribuzioni superficiali di vortici. Teoremi di Helmholtz. Legge di Biot e Savart. Vortice ad anello e vortice rettilineo semiindefinito. Vortici vicini e lontani da un dato punto e loro effetto. Superfici vorticose aderenti e libere. Coefficiente di pressione nel caso di piccole perturbazioni. Superficie vorticosa atta a rappresentare un'ala. La scia. Schema di Prandtl. Velocità ed incidenza indotte. Calcolo di portanza e resistenza indotta. L'equazione integrodifferenziale di Prandtl. Ala con distribuzione ellittica di circuitazione: calcolo di portanza e resistenza. Ala con distribuzione generica di circuitazione. Cenni sugli schemi di Weissinger e di Jones. Soluzione approssimata dell'equazione di Prandtl.

- Fluido compressibile [4 ore]

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

- Il metodo delle caratteristiche [8 ore]

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

- Espansione di correnti supersoniche [4 ore]

Differenza fra espansioni e compressioni in teoria esatta. Odografa del moto per un'espansione e sua equazione. Espansione di Prandtl-Meyer. Caratteristiche rettilinee e loro proprietà. Confronto fra teoria esatta e linearizzata.

- Le onde d'urto [16 ore]

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

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni in aula, che seguono il più fedelmente possibile il calendario delle lezioni, trattano la risoluzione di problemi particolari già studiati teoricamente.

Gli studenti, divisi a gruppi di 10-12, effettueranno il rilievo sperimentale delle pressioni attorno ad un cilindro circolare e attorno ad un modello di profilo NACA 0015 in una piccola galleria del vento didattica.

## **BIBLIOGRAFIA**

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

R. Arina & F. Quori, *Esercizi di Aerodinamica*, Levrotto & Bella, Torino.

## **B0231 ANALISI MATEMATICA 1**

Anno: 1      Periodo: 1  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni: 4      (ore settimanali)  
Docente:      da nominare      (I corso)  
**Valeria CHIADÒ PIAT**      (II corso)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso sviluppa gli argomenti di base dell'analisi matematica sulla retta reale, quali il concetto di funzione, di continuità, di derivabilità e di integrale. Nella parte introduttiva si danno delle nozioni di logica e di teoria degli insiemi. Gli argomenti sono sviluppati sottolineando le concatenazioni logiche e le deduzioni. I contenuti di questo corso, oltre ad essere propedeutici ai corsi successivi e applicativi, hanno una funzione formativa di base abituando lo studente a ragionamenti rigorosi e svincolati da singole applicazioni.

### **REQUISITI**

Nozioni di base di algebra, elementi di trigonometria, proprietà dei logaritmi, grafici di funzioni elementari.

### **PROGRAMMA**

- Nozioni di logica, proposizioni, connettivi logici, predicati, quantificatori. Elementi di teoria degli insiemi. Relazioni. Funzioni, dominio, codominio e immagine. Funzione composta, iniettività, suriettività. Numeri naturali, calcolo combinatorio. I numeri reali. Estremi inferiori e superiori, completezza. Topologia della retta reale. Limitatezza, massimi e minimi. [12 ore]
- Definizione di limite. Unicità del limite, permanenza segno e limitatezza locale. Teoremi del confronto. Algebra dei limiti. Forme di indecisione. Limite di funzione composta. Simboli di Landau, comportamenti asintotici. Errore assoluto ed errore relativo. Infiniti, infinitesimi e loro confronti. [12 ore]
- Successioni. Teoremi sulle successioni. Limiti fondamentali. Successioni monotone e legami tra estremo inferiore e superiore e i limiti. [4 ore]
- Definizione di continuità. Algebra delle funzioni continue. Esistenza zeri, valori intermedi e risultati su continuità globale. Continuità della funzione inversa. [4 ore]
- Definizione di derivata. Differenziale. Algebra delle derivate e derivata delle funzioni composte. Derivata di inversa funzionale. Proprietà locali delle funzioni derivabili. Proprietà globali delle funzioni derivabili. Conseguenze e applicazioni del teorema di Lagrange. Primitive. Regole di calcolo delle primitive. Regola di de l'Hopital. Formule di Taylor e di McLaurin. Principali sviluppi accorciati. Convessità. Criteri di convessità. [24 ore]
- Somme superiori e inferiori, integrale di Riemann. Integrabilità delle funzioni continue. Integrabilità delle funzioni monotone. Integrabilità delle funzioni limitate e continue eccetto un numero finito di punti. Teorema fondamentale del calcolo integrale. Integrazione numerica: metodo dei trapezi. [6 ore]
- Integrali impropri. Criterio di convergenza del confronto, criterio del valore assoluto e criterio del confronto con infiniti o infinitesimi campione. [6 ore]
- Equazioni differenziali del primo ordine: autonome, a variabili separabili lineari e omogenee. Equazioni differenziali del secondo ordine a coefficienti costanti. [6 ore]

### **ESERCITAZIONI E/O LABORATORI**

- Grafici di funzioni elementari. Funzioni inverse. Funzioni composte. Operazioni sugli insiemi. Disequazioni ed equazioni. Estremo superiore, punti di accumulazione, limitatezza, massimi e minimi. [10 ore]

- Calcolo di limiti, forme indeterminate, limite di funzione composta. Infiniti, infinitesimi, parti principali, limiti notevoli. [6 ore]
- Esercizi di derivazione. Derivabilità di funzioni definite a tratti. Funzioni iperboliche. Determinazione del numero di radici di un polinomio. [8 ore]
- Studi di funzione. Asintoti. Funzioni pari e dispari. [6 ore]
- Primitive di funzioni continue e primitive generalizzate. Tecniche di integrazione per parti e per sostituzione. Integrazione delle funzioni razionali. Scomposizione in fratti semplici. Alcuni integrali di funzioni irrazionali. Integrali per parti ricorsivi. [8 ore]
- Formula di Taylor. Criteri per i punti critici e per i flessi. [4 ore]
- Integrali impropri su intervalli non limitati e su intervalli limitati, applicazione dei criteri. [4 ore]

## BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Bacciotti, F. Ricci, *Analisi matematica, vol.1*, Liguori, Napoli, 1994.

Testi ausiliari:

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

P. Boieri, G. Chiti, *Precorso di Matematica 1*, Zanichelli, Bologna, 1994.

D. Giublesi, A. Tabacco, *Temi svolti di Analisi matematica 1*, Levrotto & Bella, To, 1991.

P. Marcellini, C. Sbordone, *Esercitazioni di Matematica 1*, Liguori, Napoli, 1992.

## ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale. Il superamento della prova scritta è condizione necessaria per accedere alla prova orale. Per sostenere la prova scritta, gli studenti devono prenotarsi presso la segreteria didattica del Dipartimento. Maggiori dettagli sulle modalità di svolgimento delle prove saranno forniti all'inizio del corso.

## B0232 ANALISI MATEMATICA 2

Anno: 2	Periodo: 1
Impegno (ore):	lezioni: 6      esercitazioni: 4      (ore settimanali)
Docenti:	<b>Maria MASCARELLO</b> (I corso) <b>Marco CODEGONE</b> (II corso)

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

### PROGRAMMA

- Funzioni di più variabili. [6 ore]

Nozioni di topologia negli spazi  $n$ -dimensionali. Limite. Continuità.

- Calcolo differenziale per funzioni di più variabili. [10 ore]

Funzioni scalari: derivate parziali. Derivate direzionali: Differenziale; piano tangente.

Gradiente. Formula di Taylor. Matrice Hessiana. Punti stazionari: loro classificazione. Funzioni

vettoriali: derivate parziali. Derivate direzionali. Matrice Jacobiana. Differenziale. Derivazione di una funzione composta: regola della catena.

- Calcolo differenziale su curve e superfici. [6 ore]

Curve. Superfici regolari nello spazio. Funzioni implicite e varietà. Massimi e minimi vincolati, moltiplicatori di Lagrange.

- Integrali multipli. [8 ore]

Integrali multipli e loro trasformazioni nello spazio  $n$ -dimensionale. Primo teorema di Guldino. Cenni sugli integrali impropri. Funzioni definite mediante integrali, teorema di derivazione sotto il segno di integrale.

- Integrali su curve e superfici. [8 ore]

Integrale curvilineo. Area di una superficie. Secondo teorema di Guldino. Superfici orientate.

Integrale di flusso. Teorema della divergenza. Forma differenziale lineare. Integrale di linea di un campo. Teorema di Green. Teorema di Stokes. Forma differenziale esatta e teorema fondamentale. Potenziale.

- Serie numeriche. Successioni e serie di funzioni. [10 ore]

Serie numeriche, generalità. Serie a termini positivi. Serie a termini di segno alterno. Assoluta convergenza. Serie negli spazi normati. Successioni e serie di funzioni.; convergenza puntuale e assoluta, in media quadratica, uniforme. Teorema di Weierstrass. Teorema di integrazione e derivazione per serie.

- Serie di Fourier. [6 ore]

Funzioni periodiche. Famiglie ortogonali di funzioni. Polinomi trigonometrici. Polinomio di Fourier di una funzione a quadrato integrabile. Serie di Fourier, sua convergenza in media quadratica. Identità di Parseval. Convergenza puntuale ed uniforme della serie di Fourier.

- Serie di potenze. [8 ore]

Serie di Potenze, raggio di convergenza. Sviluppo in serie di Taylor. Sviluppi notevoli. Funzioni definite mediante integrali non elementari. Applicazioni numeriche. Matrice esponenziale.

- Sistemi di equazioni differenziali. [14 ore]

Sistemi di equazioni differenziali del primo ordine. Problema di Cauchy. Equazioni differenziali di ordine  $n$ . Sistemi differenziali del primo ordine lineari in forma normale. Sistema omogeneo. Sistema completo, metodo di Lagrange. Equazioni differenziali di ordine  $n$  lineari. Integrazione per serie di equazioni differenziali lineari del secondo ordine. Sistemi differenziali lineari a coefficienti costanti del primo ordine. Sistemi omogenei. Sistemi lineari completi di tipo particolare. Equazioni differenziali lineari di ordine  $n$  a coefficienti costanti.

## ESERCITAZIONI E/O LABORATORI

Le esercitazioni verteranno su:

- Funzioni di più variabili. [4 ore]

Nozioni di topologia negli spazi  $n$ -dimensionali. Limite. Continuità.

- Calcolo differenziale per funzioni di più variabili. [4 ore]

Funzioni scalari: derivate parziali. Derivate direzionali: Differenziale; piano tangente.

Gradiente. Formula di Taylor. Matrice Hessiana. Punti stazionari: loro classificazione. Funzioni

vettoriali: derivate parziali. Derivate direzionali. Matrice Jacobiana. Differenziale. Derivazione

di una funzione composta: regola della catena.

- Calcolo differenziale su curve e superfici. (4 ore esercitazione)

Curve. Superfici regolari nello spazio. Funzioni implicite e varietà. Massimi e minimi vincolati, moltiplicatori di Lagrange.

- Integrali multipli. [8 ore]

Integrali multipli e loro trasformazioni nello spazio  $n$ -dimensionale. Primo teorema di Guldino.

Cenni sugli integrali impropri. Funzioni definite mediante integrali, teorema di derivazione sotto il segno di integrale.

- Integrali su curve e superfici. [8 ore]

Integrale curvilineo. Area di una superficie. Secondo teorema di Guldino. Superfici orientate.

Integrale di flusso. Teorema della divergenza. Forma differenziale lineare. Integrale di linea di

un campo. Teorema di Green. Teorema di Stokes. Forma differenziale esatta e teorema fondamentale. Potenziale.

- Serie numeriche. Successioni e serie di funzioni. [8 ore]

Serie numeriche, generalità. Serie a termini positivi. Serie a termini di segno alterno. Assoluta

convergenza. Serie negli spazi normati. Successioni e serie di funzioni.; convergenza puntuale e

assoluta, in media quadratica, uniforme. Teorema di Weierstrass. Teorema di integrazione e derivazione per serie.

- Serie di Fourier. [4 ore]

Funzioni periodiche. Famiglie ortogonali di funzioni. Polinomi trigonometrici. Polinomio di

Fourier di una funzione a quadrato integrabile. Serie di Fourier, sua convergenza in media qua-

dratica. Identità di Parseval. Convergenza puntuale ed uniforme della serie di Fourier.

- Serie di potenze. [8 ore]

Serie di Potenze, raggio di convergenza. Sviluppo in serie di Taylor. Sviluppi notevoli. Funzioni

definite mediante integrali non elementari. Applicazioni numeriche. Matrice esponenziale.

- Sistemi di equazioni differenziali. [6 ore]

Sistemi di equazioni differenziali del primo ordine. Problema di Cauchy. Equazioni differenzia-

li di ordine  $n$ . Sistemi differenziali del primo ordine lineari in forma normale. Sistema omoge-

neo. Sistema completo, metodo di Lagrange. Equazioni differenziali di ordine  $n$  lineari.

Integrazione per serie di equazioni differenziali lineari del secondo ordine. Sistemi differenziali

lineari a coefficienti costanti del primo ordine. Sistemi omogenei. Sistemi lineari completi di

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

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Bacciotti, F. Ricci, *Lezioni di Analisi Matematica II*, Levrotto & Bella, Torino, 1991.

M. Mascarello, *Analisi Matematica II, Raccolta e stampa dei trasparenti*. Progetto Leonardo, Esculapio, Bologna, 1996.

Eventuali testi ausiliari:

Mascarello, L. Mazzi, *Temi d'esame di Analisi Matematica II del Politecnico di Torino*.

Progetto Leonardo, Esculapio, Bologna, 1996.

Marcellini, C. Sbordone, *Esercitazioni di Matematica*, 2 Volume, parte prima e parte seconda.

Liguori Editore, Napoli, 1995.

L'esame consiste in una prova scritta ed una orale, che devono essere sostenute nello stesso appello e vertono sull'intero programma del corso.

A discrezione del docente, la prova orale può comprendere una serie di domande di carattere teorico, cui sia richiesto di rispondere per iscritto, o la valutazione di eventuali esercitazioni svolte al LAIB.

Lo studente può presentarsi alla prova scritta una volta per sessione. È necessario prenotarsi preventivamente all'appello, consegnando lo statino presso la segreteria didattica del Dipartimento di Matematica, entro le ore 12 del giorno che verrà di volta in volta comunicato. Se la prenotazione non viene disdetta, lo studente viene considerato come presente.

Gli studenti vengono ammessi alla prova orale solo se hanno superato positivamente la prova scritta.

La data della prova scritta coincide con la data ufficiale dell'appello. Gli studenti devono presentarsi muniti di libretto oppure di tesserino universitario. Durante tale prova è consentito consultare gli appunti del corso più altri due volumi, a scelta dello studente. L'uso di tali volumi è strettamente personale. È vietato servirsi di calcolatrici o calcolatori di ogni genere.

Al termine della prova scritta, saranno presentate le soluzioni degli esercizi proposti. Gli studenti che ritenessero di non aver svolto il compito in modo soddisfacente, possono ritirare il loro elaborato: questi studenti non potranno ripresentarsi nello stesso periodo di valutazione.

Ogni studente può presentarsi a sostenere l'esame non più di una volta per ogni periodo di valutazione. Eccezionalmente nel quinto periodo di valutazione, lo studente può presentarsi alla prova scritta fino a 2 volte, ma può consegnare il compito per la valutazione una volta sola.

Per gli studenti che non ritirano il compito dopo la presentazione delle soluzioni, il docente provvederà alla registrazione dell'esame, qualunque ne sia l'esito finale.

## B0620 CHIMICA

Anno: 1	Periodo: 1			
Impegno (ore):	lezione: 6	esercitazioni: 2	laboratori: 2	(ore settimanali)
Docente:	da nominare			

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di illustrare le leggi fondamentali della Chimica e di stabilire una stretta relazione tra queste e gli aspetti principali della Chimica Generale ed Applicata. A tale proposito nella parte finale del corso saranno presentati alcuni processi industriali che verranno discussi in modo critico in relazione ai principi fondamentali della Chimica. Si ritiene inoltre indispensabile presentare alcuni aspetti della Chimica Organica. Nel corso delle esercitazioni saranno utilizzati i principi teorici per risolvere alcuni semplici problemi.

### PROGRAMMA

*Le Leggi Fondamentali della Chimica*(6) Le leggi ponderali e volumetriche; significato quantitativo di formule e reazioni. Numero di ossidazione e bilanciamento di reazioni. *Lo Stato Gassoso* (8 ore) Le leggi fondamentali dei gas ideali. Equazione di stato dei gas ideali. Equazione di stato di Van der Waals. Teoria cinetica dei gas ed equazione fondamentale. Distribuzione delle energie e delle velocità (curve di Maxwell-Boltzmann). *Lo Stato Liquido* (6 ore) Proprietà colligative di soluzioni di non elettroliti. Soluzioni ideali e non ideali; miscele azeotropiche e separazione per distillazione frazionata. Dissociazione elettrolitica, grado di dissociazione, conduttività di soluzioni elettrolitiche. *Cenni di Termodinamica Chimica* (6 ore) 1° e 2° principio della termodinamica. Termochimica: leggi di Hess e di Kirchoff. Entropia e Energia libera di Gibbs. Spontaneità dei processi chimici.

*Struttura Atomica della Materia* (10 ore) Modello atomico di Bohr e sua applicazione all'atomo di idrogeno. Energia di ionizzazione e di affinità elettronica. Massa atomica, massa molecolare e concetto di mole. Modello ondulatorio ed equazione di Schrödinger. numeri quantici. Distribuzione degli elettroni negli orbitali atomici per  $Z > 1$ . Sistema periodico degli elementi e configurazioni elettroniche. *Cenni di Radiochimica* (2 ore) Nuclidi stabili ed instabili. Radioattività. *Legame Chimico* (12 ore) Legame ionico. Legame covalente, elettronegatività e polarità del legame. Delocalizzazione elettronica e risonanza. Struttura e geometria molecolare, ibridazione. Cenni sulla teoria degli orbitali molecolari, formazione di legami. Il legame metallico. Legami deboli.

*Cinetica Chimica* (4 ore) Velocità di reazione e ordine di reazione. Fattori che influiscono sulla velocità di reazione: temperatura ed energia di attivazione; azione dei catalizzatori. *Equilibrio chimico* (10 ore) Legge di azione di massa. Equilibri omogenei ed eterogenei. Interpretazione cinetica e termodinamica degli equilibri. Equilibri in soluzione acquosa. Acidi e basi. Prodotto ionico dell'acqua e pH. Idrolisi. Soluzioni tampone. Prodotto di solubilità. *Elettrochimica* (6 ore) Elettrolisi e leggi di Faraday. Potenziali standard di riduzione ed equazione di Nernst. Pile e accumulatori.

*Chimica Organica* (6 ore) Cenni di nomenclatura. Tipi di isomeria. Proprietà e reattività di: idrocarburi saturi ed insaturi, alogeno derivati, alcoli, eteri, esteri, aldeidi e chetoni, acidi carbossilici, ammine, ammidi e nitrili. Composti della serie aromatica. Polimeri e meccanismi di polimerizzazione: addizione e condensazione. *Chimica Descrittiva* (6 ore) Caratteristiche degli elementi di ciascun gruppo della tavola periodica. Preparazioni industriali di: NaOH,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Metallurgia del rame e raffinazione elettrolitica; metallurgia dell'alluminio a partire dalle bauxiti; preparazione del sodio metallico.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Per ciascuno degli argomenti elencati nel programma delle lezioni sono presentati semplici problemi. Le esercitazioni intendono costituire per gli allievi un momento di revisione critica del processo di apprendimento.

## **BIBLIOGRAFIA**

R. Michelin, A. Munari, *Fondamenti di Chimica per l'Ingegneria*, Cedam, Padova

A. Sacco *Fondamenti di Chimica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano

C. Brisi, V. Cirilli, *Chimica Generale ed Inorganica*, Levrotto & Bella, Torino

C. Brisi, *Esercizi di Chimica*, Levrotto & Bella, Torino

Materiale integrativo potrà essere reso disponibile durante il corso.

## **ESAME**

L'esame si articola in due prove: una prova scritta (A) ed una prova orale (B); L'esame è valido con il superamento di entrambe le prove. L'insufficienza conseguita nella prima prova comporta automaticamente il fallimento dell'esame e la conseguente registrazione della bocciatura. La sufficienza conseguita nella prova (A) non assicura una votazione minima né tantomeno il superamento dell'esame.

La prova scritta avrà durata di due ore e consisterà in trenta quesiti, alcuni di natura teorica ed altri che richiederanno l'impostazione di un calcolo, a cui sarà riconosciuto un punteggio maggiore. Durante l'esecuzione della prova scritta gli studenti potranno avere con sé unicamente una calcolatrice tascabile e quanto necessario per scrivere. Il punteggio massimo conseguibile allo scritto è fissato in trenta trentesimi. Tutti gli esaminandi che abbiano conseguito un punteggio minimo di 18/30 dovranno presentarsi alla prova orale che si articolerà su tutto il programma del corso, esercitazioni comprese.

## B1030 COSTRUZIONI AERONAUTICHE

Anno: 4      Periodo: 2  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni e/o laboratori: 2      (ore settimanali)  
Docente:      **Marco DI SCIUVA**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

### REQUISITI

Per poter seguire proficuamente il corso è necessario conoscere l'algebra matriciale, la meccanica razionale ed applicata, la scienza delle costruzioni, la meccanica del volo.

### PROGRAMMA

Introduzione al Corso. Classificazione degli aeromobili. Condizioni di sicurezza strutturale. Determinazione dei carichi agenti in volo ed al suolo. Materiali aerospaziali. Elementi strutturali. Sollecitazioni tipiche e soluzioni usuali.

Le superfici mobili e i loro organi di comando. Organi per il decollo e l'atterraggiamento. Teoria elementare del semiguscio. Unioni. Problemi di seconda approssimazione. Stabilità elastica. Analisi strutturale assistita da calcolatore: il metodo degli elementi finiti.

### PROGRAMMA DEL CORSO

INTRODUZIONE AL CORSO: Contenuti. Modalità di esame.

CLASSIFICAZIONE DEGLI AEROMOBILI.

CONDIZIONI DI SICUREZZA STRUTTURALE. Il progetto strutturale: *il tema ed i requisiti di specifica*. Le funzioni della struttura. Il compito dell'analisi strutturale. Livelli dei carichi di progetto. Prescrizioni di robustezza, rigidità, elasticità. Concetto di struttura safe-life e fail-safe.

DETERMINAZIONE DEI CARICHI. Classificazione dei carichi: *statici, quasistatici e dinamici*. Carichi sollecitanti in volo: *carichi da manovra in volo simmetrico*.

Coefficienti di contingenza. Campo di sicurezza assoluto e campo di sicurezza

Regolamentare. Raffica e sua modellizzazione deterministica. Cenni all'approccio statistico della raffica. Normativa: *diagrammi di manovra, di raffica ed inviluppo*. Ripartizione della portanza tra l'ala e la coda. Brusca manovra longitudinale. Carichi sollecitanti al suolo: *carichi all'atterraggio*. Carichi termici. Principali effetti della temperatura sulle strutture

MATERIALI AEROSPAZIALI: Tensioni caratteristiche, moduli elastici, coefficienti di dilatazione termica, lunghezze di rottura, ecc. dei principali materiali aerospaziali (acciai; leghe a base di magnesio; leghe a base di alluminio; leghe di titanio; materiali compositi).

ELEMENTI STRUTTURALI. SOLLECITAZIONI TIPICHE E SOLUZIONI USUALI. Schema a trave dei principali elementi costituenti la struttura di un velivolo. Sollecitazioni tipiche agenti sull'ala. Sollecitazioni tipiche agenti sugli impennaggi. Sollecitazioni tipiche agenti sulla fusoliera. Ala ed impennaggi: *longheroni e centine; rivestimenti, nervati e non; pannelli sandwich; attacchi a sforzi concentrati e diluiti; ali rastremate e/o a freccia*. Fusoliera: *strutture reticolari e a semiguscio*. Collegamenti ala-fusoliera.

LE SUPERFICI MOBILI E I LORO ORGANI DI COMANDO. Impennaggi ed alettoni. Equilibramento statico e dinamico. Compensazione aerodinamica. Ipsosostentatori ed aerofreni. Comandi di volo: *classificazione; requisiti e tipologia*. Particolarità dei comandi a fune. Cenni ai servocomandi idraulici puri ed assistiti ed ai sistemi di sensibilità artificiale.

ORGANI PER IL DECOLLO E L'ATTERRAMENTO. Generalità. Pregi e difetti dei carrelli normale e triciclo. Ammortizzatori. Carrelli fissi e retrattili.

TEORIA ELEMENTARE DEL SEMIGUSCIO. Le strutture a guscio e a guscio rinforzato (semiguscio): le funzioni dei vari elementi. Ipotesi del semiguscio ideale. Il concetto di striscia collaborante. Richiami sulla flessione, torsione e taglio. Formule di Bredt. Stato di sollecitazione negli irrigidimenti di una sezione asemiguscio sollecitata a sforzo normale e momento flettente. Stato di sollecitazione nei pannelli e gradiente di torsione di una sezione a semiguscio sollecitata a taglio e/o torsione: Pannelli curvi sede di flusso di taglio costante. Centro di taglio. Sezione a semiguscio aperta sollecitata a taglio.

Sezione a semiguscio monocella generica sollecitata a taglio e/o torsione. Sezione a semiguscio multicella sollecitata a taglio e/o torsione. Stato di sollecitazione nei correnti e nei pannelli delle travi rastremate.

UNIONI. Tipologia: *saldatura, incollaggio, bullonatura o rivettatura*.

I giunti rivettati: tipologia e modi di cedimento. Analisi degli attacchi a sforzi concentrati.

LA STABILITA' ELASTICA. Concetti, definizioni e criteri. Rassegna fotografica di fenomeni di cedimento strutturale per instabilità dell'equilibrio. Studio della stabilità di alcuni modelli elementari. Effetto delle imperfezioni di forma. Analisi nonlineare e linearizzata della stabilità. Il concetto di punto limite e di punto di biforcazione. Stabilità delle aste compresse: Equazioni di stabilità. Carichi critici: per instabilità generale (aste lunghe e corte), locale e torsionale. Stabilità delle piastre sottili (modello piastra di Kirchhoff: Nonlinearità di tipo geometrico: ipotesi di von Kàrmàn. Equazioni di stabilità per sollecitazione di compressione biassiale e taglio. Alcuni risultati analitici sulle piastre rettangolari isotrope (uso di tabelle e grafici). Piastra piana sollecitata a compressione e semplicemente appoggiata su tutti i lati. Altre condizioni al contorno. Comportamento postcritico. Il concetto di larghezza collaborante nelle piastre compresse. Instabilità elastica delle piastre soggette a taglio puro. Campo di tensione diagonale completo e parziale. Deformabilità dei pannelli soggetti a taglio. Condizioni di carico combinate. Estensione della trattazione al caso delle piastre irrigidite, sandwich e multistrato.

PROBLEMI DI SECONDA APPROSSIMAZIONE. Difetti di equilibrio e di congruenza nei modelli strutturali. Il problema dello shear-lag. I sistemi di tensioni correttive. Presentazione e discussione di alcuni risultati tipici su cassoni alari.

IL METODO DEGLI ELEMENTI FINITI. Introduzione al metodo degli elementi finiti. Fondamenti del metodo: i polinomi interpolatori; la matrice di rigidezza ed il vettore dei carichi nodali dell'elemento; l'assemblaggio; il calcolo degli spostamenti, delle deformazioni e delle tensioni. Elemento finito asta, trave, membrana triangolare e quadrilatero in stato piano di deformazione, piastra quadrangolare in stato piano di tensione, solido parallelepipedo. Cenni sui principali codici di calcolo strutturale disponibili sul mercato. Esempi di applicazione del metodo (presentazione critica di risultati ottenuti con NASTRAN e SAMCEF. Considerazioni conclusive.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Esercitazioni di calcolo:

Presentazione dettagliata della struttura di un velivolo oggetto di calcolo nelle successive esercitazioni. Lettura e commento della Normativa; tracciamento dei diagrammi di manovra e di raffica. Calcolo della ripartizione della portanza tra l'ala e la coda; tracciamento dei diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione lungo l'asse della semiala e della fusoliera, per una prescelta condizione di carico. Calcolo dello stato di sollecitazione per flessione nei correnti di una prescelta sezione alare e per una data condizione di carico. Calcolo dei flussi di taglio nei pan-

nelli di una sezione caratteristica e per una data condizione di carico. Verifica di un attacco alare a sforzi concentrati. Verifica di stabilità di aste a parete sottile aperte compresse. Verifica di stabilità di pannelli compressi.

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

Esercitazioni di laboratorio sperimentale: Rilievi sperimentali di deformazioni e gradienti di torsione in un cassone sottoposto a torsione. Confronto con risultati analitici.

## **BIBLIOGRAFIA**

Appunti del docente.

T.H.G. Megson *Aircraft Structures for Engineering Students*, Arnold, 1990.

E.F. Bruhn *Analysis and Design of Flight Vehicle Structures*, Tri-State Offset Company, Cincinnati, Ohio, 1969.

A. Lausetti *Aeroplani*, Levrotto & Bella, Torino, 1964.

D.O. Brush, B.O. Almroth *Buckling of Bars, Plates and Shells*, McGraw-Hill Book Company, 1975.

G.J. Simitses *An Introduction to the Elastic Stability of Structures*, Prentice-Hall, Inc., 1976.

T.Y. Yang *Finite Element Structural Analysis*, Prentice Hall, 1986.

## **ESAME**

Consiste in una prova scritta ed una orale. Per essere ammessi alla prova orale bisogna aver superato la prova scritta. Concorre alla formulazione del giudizio finale anche la valutazione degli elaborati grafici e delle relazioni di calcolo delle esercitazioni.

## B0940 COSTRUZIONE DI MACCHINE

Anno: 4      Periodo: 2  
Impegno (ore):      lezioni: 54      esercitazioni: 46      laboratorio: 6      (ore nell'intero periodo)  
Docente:      **Muzio M. GOLA**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il personale addetto all'insegnamento è composto dal docente titolare, che impartisce le lezioni, per le esercitazioni in aula da due ricercatori e uno studente coadiutore, per quelle di LABORATORIO APERTO da un tecnico laureato.

L'insegnamento è impostato su moduli sostanzialmente settimanali, consistenti ciascuno in due lezioni di due ore ciascuna, seguite da una esercitazione di quattro ore.

L'insegnamento ha un obiettivo duplice:

- trasmettere la base concettuale da cui nascono i metodi di calcolo e le basi di dati sperimentali
- approfondire l'uso dei metodi di calcolo, sviluppando l'abilità a identificare un problema e a risolverlo con un approccio di tipo professionale.

### REQUISITI

Anche se non verranno posti impedimenti formali, è bene che l'allievo padroneggi - in particolare - i contenuti delle materie Scienza delle Costruzioni e Meccanica Applicata.

I testi delle esercitazioni distribuiti in aula e l'eventuale materiale di supporto dovranno essere accompagnati dalla risoluzione dettagliata dei problemi proposti e raccolti in una "relazione", in versione unica per la squadra (composta di non oltre 3 allievi); è consigliato a ogni allievo di provvedersi, al termine del corso, di una fotocopia personale della relazione. Siccome l'assistenza in aula è un servizio offerto in vista della comprensione della teoria e del superamento della prova scritta d'esame, il docente si attende che gli allievi partecipino attivamente alla esercitazione, trattenendovisi per l'intera durata, dedicandosi alla soluzione dei problemi proposti e richiedendo al corpo docente presente in aula i chiarimenti che si renderanno necessari.

Ci si attende che ogni allievo al termine possa dimostrare di aver sviluppato le competenze teoriche e le abilità esecutive relative alle esercitazioni sotto elencate.

### PROGRAMMA

- (5 ore) - introduzione all'insegnamento, modalità per le esercitazioni e gli esami; introduzione all'insegnamento, modalità per le esercitazioni e gli esami; riepilogo sullo stato di tensione, natura fisica, concetto di tensore; equazioni di equilibrio e forma del tensore; deduzione dei cerchi di Mohr in tre dimensioni e loro utilizzazione ai fini del progetto; autovalori e autovettori, invarianti; cedimento duttile e fragile, resistenza dei materiali, ipotesi di cedimento per materiali duttili e fragili

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

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

- (4 ore) - basi teoriche dei controlli ad ultrasuoni, con onde longitudinali e trasversali; principali metodi per la rilevazione dei difetti (raggi X, ultrasuoni, magnetoscopia, liquidi penetranti), tipologie principali delle rilevazioni;
- (4 ore) - principali procedimenti di saldatura elettrica (elettrodo manuale, MIG, TIG, arco sommerso); certificazione dei procedimenti e degli operatori; preparazione delle lamiere; origini dei principali difetti delle saldature, come evitarli; difettologia, particolare riferimento a fusioni e a giunti saldati; indicazioni normative per l'accettabilità dei difetti (UNI, ISO, ASME); relazione fra difettosità e calcolo a resistenza; calcolo ISO-UNI e calcolo ASME dei giunti saldati di testa; calcolo ISO-UNI dei cordoni d'angolo con riferimento alla CNR-UNI 10011/88 (statico e a fatica); range pair, rainflow
- (6 ore) - teoria del problema di contatto localizzato, soluzione di Hertz; calcolo delle tensioni di contatto, pressioni limite di contatto; problemi speciali dei cuscinetti a rotolamento; scelta e calcolo da catalogo; carico equivalente per carichi variabili; ripresa di problemi speciali dei cuscinetti per impiego aeronautico; calcolo di cuscinetti ad alta velocità di rotazione
- (4 ore) - dischi e tubi sollecitati con simmetria rotatoria; equazioni in campo elastico e in campo parzialmente plasticizzato; caso dell'accoppiamento forzato mozzo-albero e relazioni tra il calcolo ed il sistema ISO di accoppiamenti unificati; effetto della rugosità; caso dei dischi rotanti, particolare riferimento ai dischi di turbina; disco di uniforme resistenza; dischi profilati e con corona di palette
- (4 ore) - collegamento smontabile mediante viti; tipi di filettatura, strumenti per il serraggio controllato; coppie di serraggio, incertezza; diagramma di forzamento; calcolo a resistenza statico e a fatica di un accoppiamento avvitato; distribuzione dei carichi sui filetti; classi dei materiali per viti e madreviti
- (4 ore) - meccanica della frattura, storia e fenomenologia; impostazione di Griffith, contributo di Westergaard; fattore di intensificazione delle tensioni, valori critici caratteristici dei materiali; meccanica della frattura lineare elastica, suoi limiti, sperimentazione; meccanica della frattura e fatica, crescita della cricca, piani di controllo, modelli di ritardo
- (4 ore) - calcolo dei denti degli ingranaggi, problemi di fatica, usura, pressione Hertziana; correzione delle ruote cilindriche a denti diritti ed elicoidali, ruote "zero" e accoppiamenti; taglio e ingranamento; strisciamento specifico
- (4 ore) - molle piane di flessione, molle elicoidali di torsione e di flessione; calcolo statico e a fatica
- (4 ore) - chiarimenti, recuperi, approfondimenti

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

LABORATORIO APERTO nei seguenti periodi

- esercitazione di estensimetria, nel mese di aprile
  - esercitazione di ultrasuoni nel mese di maggio
- in gruppi di quattro squadre per ciascun blocco di due ore, su appuntamento  
In aula:

A1 - Esercizi su stato di tensione, sollecitazione e resistenza dei materiali, cerchi di Mohr; osservazione di provini duttili e fragili rotti staticamente

A2 - Calcolo di resistenza di un albero di trasmissione recante ruote dentate elicoidali; redazione di una breve relazione tecnica di verifica del detto albero

B - esercizi su estensimetria

C - esercizi sul calcolo a fatica di elementi meccanici; applicazione al calcolo di un albero di trasmissione; osservazione di varie superficie di rottura a fatica, diagnosi di fatica

D - laboratorio a squadre: tecniche di controllo non distruttivo: magnetoscopia, raggi X, liquidi penetranti;

E - esercizi sul calcolo di cordoni di saldatura d'angolo: sollecitazioni statiche e sollecitazioni di fatica; esercizi sul calcolo di saldature di testa

- F1 - calcolo delle tensioni di contatto fra gli elementi di cuscinetti a rulli e a sfere; esercizi sul calcolo di cuscinetti a catalogo, carichi variabili
- F2 - calcolo di un cuscinetto a rulli ad alta velocità per motore aeronautico, con calettamento a interferenza sulle sedi e dilatazioni termiche
- G - calcolo di un accoppiamento forzato mozzo - albero, con riferimenti tecnologici
- H - calcolo completo di un accoppiamento avvitato, statico e a fatica, con redazione di relazione tecnica
- I - esercizi sulla progettazione con meccanica della frattura lineare elastica
- J - calcolo di resistenza statica e a fatica di un ingranaggio con dentature corrette; strisciamento specifico
- K - calcolo delle molle di flessione e di torsione, a sollecitazione statica, a pacco, a fatica

## BIBLIOGRAFIA

Dispense del corso, testi delle esercitazioni

## ESAME

- Prova d'esame scritta, della durata di tre ore, composta di 48 quesiti dei quali:
  - 32 domande sugli argomenti di teoria illustrati a lezione, tre risposte da scegliere con la seguente regola di punteggio: risposta giusta -> 1 punto, risposta omessa -> 0 punti, risposta errata -> -1/2 punti;
  - 16 esercizi elementari (tipicamente coinvolti una formula sola o un solo diagramma) con una risposta numerica, con la seguente regola di punteggio: risposta giusta entro una fascia del 5% -> 2 punti, risposta omessa o errata -> 0 punti.
- Passaggio da punteggio a voto: voto = punti x 5/8, corrispondente a 30/30 sul 75% del massimo di punti (64).
- L'esame scritto viene sostenuto senza l'aiuto né di appunti né di libri; l'esaminando trovato in possesso di tale materiale non avrà diritto alla correzione del compito, che egli comunque consegnerà venendo considerato partecipante all'esame a tutti gli effetti, salvo sanzioni ulteriori.
- L'esaminando si può ritirare entro 1/2 d'ora dall'inizio della prova, ed in tal caso non verrà considerato presente; dopo tale termine l'esaminando è definitivamente presente alla prova scritta e consegna lo statino; per la ripetizione dell'esame valgono rigorosamente le regole di Facoltà.
- L'esaminando dovrà riconsegnare in ogni caso i testi d'esame che gli sono stati consegnati.
- Esame orale: l'esaminando avrà la possibilità di controllare la correzione del suo elaborato e la formazione del voto; durante una sessione correzione/verifica orale discuterà con il docente lo svolgimento di esercizi che contengano esclusivamente errori di calcolo, segnalando la eventuale correttezza del procedimento e giustificandola; ciò potrà consentire, a discrezione del docente, il recupero anche totale del punteggio corrispondente.
- L'esaminando si presenta alla verifica orale e alla registrazione voto con la sua copia della relazione di esercitazione; ne deve dimostrare conoscenza.
- Per ottenere voti uguali o maggiori a 27/30 l'allievo si deve sottoporre a una verifica orale più approfondita riguardante i fondamenti teorici esposti a lezione. Ogni allievo si deve prenotare presso la Segreteria Didattica tre giorni prima dell'esame scritto. Si presenta all'esame scritto con lo statino.

## **B1420      DISEGNO TECNICO AEROSPAZIALE**

Anno: 2	Periodo: 1			
Impegno (ore):	lezioni: 54	esercitazioni: 26	laboratori: 26	(ore nell'intero periodo)
Docente:	<b>Rita QUENDA</b>			

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire agli allievi ingegneri aerospaziali la conoscenza del linguaggio del disegno tecnico industriale per la rappresentazione di particolari, gruppi e insiemi secondo le norme Nazionali e Internazionali.

Requisiti

Per l'uso del software CAD è necessaria la conoscenza dell'informatica di base (DOS - Windows).

### **PROGRAMMA**

Normazione e Unificazione nel disegno tecnico

Sistemi di proiezione; proiezioni parallele e centrali; convenzioni di rappresentazione; sezioni.

8 ore

Quotatura, definizioni, criteri generali, convenzioni

6 ore

Filettature, tipi di profili, rappresentazione, quotatura

elementi filettati e dispositivi antisvitamento

6 ore

Collegamenti con chiodi e rivetti

2 ore

Tolleranze dimensionali, principi generali, tolleranze ISO; applicazioni

4 ore

Tolleranze geometriche, definizioni, applicazioni

4 ore

Rugosità, definizioni, indicazione a disegno e applicazioni

2 ore

Elementi di collegamento: linguette, alberi scanalati

2 ore

Ruote dentate, rappresentazione a disegno e convenzioni

2 ore

Cuscinetti volventi, tipi principali, norme di montaggio, bloccaggio assiale e radiale, elementi di tenuta, esempi applicativi

6 ore

Autocad.

Gestione dei files di disegno; comandi di base per la realizzazione e la modifica di disegni 2D; piani di lavoro; sezioni; testi; quote; tolleranze; blocchi.

3D: comandi per la definizione e visualizzazione di modelli solidi.

12 ore

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni prevedono l'esecuzione di schizzi costruttivi di particolari e gruppi di impiego aerospaziale.

Durante le esercitazioni in aula i disegni sono eseguiti a mano libera, corredati da tutte le informazioni necessarie per eseguire e controllare l'oggetto rappresentato.

Durante le esercitazioni presso il Laboratorio Informatico di Base (LAIB2) gli stessi disegni sono riprodotti con l'ausilio del software AutoCAD.

## BIBLIOGRAFIA

1. E. Chirone, S. Tornincasa, *Disegno Tecnico Industriale*, voll. 1-2, Il Capitello - Torino.
2. L. Baldassini, *Vademecum per disegnatori e tecnici*, Hoepli - Milano
3. C. Jensen, J.D. Helsel, *Engineering Drawing and Design*, Macmillan/McGraw-Hill, New York.
4. Sham Tickoo. *AutoCAD13*, Jackson Libri - Milano

## ESAME

L'esame prevede una prova grafica e una successiva discussione alla quale si accede solo avendo superato la prima prova.

Inoltre, ai fini della valutazione finale, lo studente deve presentare in forma corretta e dimostrata di conoscere negli aspetti funzionali e costruttivi, le esercitazioni svolte durante l'anno accademico in corso.

## **B1530 ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE**

Anno: 5                      Periodo: 2  
Impegno (ore):            lezioni: 5            esercitazioni: 1            laboratori: 2            (ore settimanali)  
Docente:                    da nominare

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Lo scopo del corso è quello di far acquisire ai partecipanti la cultura base d'impresa: far comprendere il suo ruolo e le sue finalità nell'ambito del sistema economico, i suoi processi operativi ed i suoi rapporti con il mercato, i criteri di misura delle sue prestazioni in termini economico-finanziari, i principali fattori di competitività su qualità, costi e tempi, le diverse componenti del suo sistema organizzativo e di programmazione e controllo sia per le attività su previsione che commessa.

La scelta dei contenuti e delle modalità didattiche è stata fatta tenendo conto degli obiettivi di formazione, privilegiando la visione organica complessiva della tematica, piuttosto che approfondimenti particolari.

### **REQUISITI**

Si consiglia vivamente si rispettare tutte le precedenze indicate nel piano ufficiale degli studi.

### **PROGRAMMA**

- L'impresa nel sistema economico

Economia e sviluppo economico, il ruolo dell'impresa.

Il sistema economico ed il sistema delle imprese.

Finalità e problematiche gestionali dell'impresa.

Sintesi delle operazioni dell'impresa: processi di scambio sui mercati e processi interni.

- I Fondamenti economici e finanziari dell'impresa

Archi temporali parziali: il bilancio di esercizio e la contabilità analitica. Analisi delle componenti della capacità di reddito e dell'equilibrio finanziario. Analisi dei costi per centri e per attività.

Ciclo di vita definito: criteri e metodologie di analisi degli investimenti e dei finanziamenti.

Ciclo di vita indefinito: il valore economico dell'impresa.

- Le strategie ed i fattori di competizione

L'architettura strategica dell'impresa: le aree strategiche d'affari e le competenze distintive.

L'ambiente: la struttura della domanda e della offerta, le forze competitive. Le scelte strategiche.

Le capacità operative: fattori di qualità, costo e tempo.

- Il sistema organizzativo

Le teorie: teoria razionale, teoria sociale, teoria dei sistemi. Organizzazioni meccanicistiche ed organicistiche.

Le componenti del sistema organizzativo: le strutture, i sistemi operativi, la gestione del personale.

Il sistema di controllo della gestione.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni verteranno su modellaggio ed analisi, mediante tabelle elettroniche, di casi di:

- redditività ed equilibrio finanziario dell'impresa;
- punto di pareggio e margine di sicurezza;
- contabilità analitica: costo dei prodotti da dati di distinta base e cicli di lavorazione
- budget e controllo budgetario

- investimenti/finanziamenti
- costi diretti operativi e indici di redditività del trasporto aereo

## BIBLIOGRAFIA

P.C. Ravazzi, *Il sistema economico*, Nuova Italia Scientifica (cap. I, II).

R. Caramel, *Leggere il bilancio*, Il Sole - 24 Ore Libri.

L. Peccati, *Matematica per la finanza aziendale*, Ed. Riuniti.

L. Brusa, F. Dezzani, *Budget e controllo di gestione*, Giuffrè.

L. Brusa, *Strutture organizzative d'impresa*, Giuffrè.

Materiale didattico distribuito durante il corso.

## ESAME

Scritto, ed eventualmente orale.

## REQUISITI

Elettrotecnica, Fisica 2.

## PROGRAMMA

- Richiami di elettrotecnica e teoria delle reti e campi di fisica dello stato solido. (10 h.)
- Leggi di Kirchhoff e circuiti equivalenti di Thévenin e Norton. Reti in regime continuo, sinusoidale e transitorio. Funzione di rete, diagrammi di Bode, poli e zeri. Struttura dell'atomo e diagrammi a bande. Condizione nel semiconduttore. Semiconduttori intrinseci e drogati.
- Dispositivi attivi elementari. (10 h.)
- Diodo a semiconduttore e circuiti raddrizzatori. Diodi Zener e circuiti limitatori. Modello del diodo per piccolo segnale. Fotodiodi. Alimentatori. Transistori bipolari. Principio di funzionamento e caratteristiche. Modelli del transistor in continua e per piccolo segnale. Amplificatori elementari a transistor. Guadagno e banda passante.
- Amplificatori base a transistor. (12 h.)
- Stadio ad emettitore comune. Stadio a coppia carica. Stadi finali. Dinamica e rendimento. Stadi multipli in cascata.
- Amplificatori operazionali. (16 h.)
- Stadio differenziale. Modello completo. Teoria della reazione. Effetti su guadagno, banda, linearità della compensazione. Amplificatori di tensione e di corrente. Sommatore. Diodi ideali. Condivisionamento di sensori. Stabilità, compensazione. Oscillatori stabili e sinusoidali.
- Logica digitale. (16 h.)
- Algebrà di Boole. Encoder. Codici di numerazione. Famiglie logiche. NOT, AND e OR e transistori. Circuiti combinatori e sequenziali. Multiplexer. Contatori. Conversione seriale-parallela. Servo. Automi a stati finiti.

## LABORATORI E/O ESERCIZIONI

- Le esercitazioni in aula corrispondono allo svolgimento di esercizi di verifica e in qualche caso di progetto di semplici circuiti. In particolare sono svolte esercitazioni sui seguenti argomenti:
- Circuiti a diodi.
  - Circuiti con amplificatori operazionali.
  - Oscillatori.
  - Circuiti digitali.
- Il programma del laboratorio consiste nel montaggio e nella misura dei parametri elettrici di un certo numero di circuiti.
- Circuiti RC passa-alto e passa-basso.
  - Circuiti a diodi raddrizzatori e limitatori.
  - Amplificatore a transistoro.

## BA410 ELETTRONICA

Anno: 4                      Periodo: 1  
Impegno (ore):            lezioni: 4                      esercitazioni: 2                      laboratori: 2                      (ore settimanali)  
Docente:                      **Leonardo REYNERI**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base per la comprensione del funzionamento di apparecchiature elettroniche elementari sia di tipo analogico che di tipo digitale. Può venire grosso modo diviso in tre parti principali, corrispondenti approssimativamente all'analisi dei componenti e circuiti elementari (semiconduttori), ai sistemi di elaborazione analogica dei segnali ed infine ai sistemi numerici di trattamento dell'informazione.

### REQUISITI

Elettrotecnica, Fisica 2.

### PROGRAMMA

- Richiami di elettrotecnica e teoria delle reti, e cenni di fisica dello stato solido. (10 h.)

Leggi di Kirchhoff e circuiti equivalenti di Thévenin e Norton. Reti in regime continuo, sinusoidale e transitorio. Funzione di rete, diagrammi di Bode, poli e zeri. Struttura dell'atomo e diagrammi a bande. Conduzione nel semiconduttori. Semiconduttori intrinseci e drogati.

- Dispositivi attivi elementari. (10 h.)

Diode a semiconduttore e circuiti raddrizzatori. Diodi Zener e circuiti limitatori. Modello del diode per piccolo segnale. Fotodiodi. Alimentatori. Transistore bipolare, principio di funzionamento e caratteristiche. Modelli del transistore in continua e per piccolo segnale. Amplificatori elementari a transistori. Guadagno e banda passante.

- Amplificatori base a transistori. (12 h.)

Stadio ad emettitore comune. Stadio a soppio carico. Stadi finali. Dinamica e rendimento. Stadi multipli in cascata.

- Amplificatori operazionali. (16 h.)

Stadio differenziale. Modello completo. Teoria della reazione. Effetti su guadagno, banda, linearità della controeazione. Amplificatori di tensione e di corrente. Sommatori. Diodi ideali. Condizionamento di sensori. Stabilità, compensazione. Oscillatori astabili e sinusoidali.

- Logica digitale. (16 h.)

Algebra di Boole. Encoder. Codici di numerazione. famiglie logiche. NOT, AND e OR e transistor. Circuiti combinatori e sequenziali. *Multiplexer*. Contatori. Conversione serve-parallele-serve. Automi a stati finiti.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula corrispondono allo svolgimento di esercizi di verifica e in qualche caso di progetto di semplici circuiti. In particolare sono svolte esercitazioni sui seguenti argomenti:

- Circuiti a diodi.
- Circuiti con amplificatori operazionali.
- Oscillatori.
- Circuiti digitali.

Il programma del laboratorio consiste nel montaggio e nella misura dei parametri elettrici di un certo numero di circuiti.

- Circuiti RC passa-alto e passa-basso.
- Circuiti a diodi raddrizzatori e limitatori.
- Amplificatore a transistore.

- Amplificatore con operazionale.
- Generatore di forma d'onda quadra e triangolare.
- Circuiti logici.
- Termometro etermostato

## BIBLIOGRAFIA

J. Millman, A. Grabel, *Microelectronics*, McGraw-Hill.

## ESAME

Scritto con voto massimo di 27/30, con orale integrativo facoltativo.

## **B1790      ELETTRTECNICA**

Anno: 2                      Periodo: 2  
Impegno (ore):      lezioni: 6                      esercitazioni: 2                      (ore settimanali)  
Docente:                      **Mario CHIAMPI**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire le nozioni di base dell'elettrotecnica indispensabili per una corretta utilizzazione delle macchine e degli impianti elettrici, tenendo anche conto dei problemi relativi alla sicurezza. A tale scopo, vengono esposti i fondamenti dell'analisi delle reti di bipoli lineari in regime stazionario e quasi stazionario e sono richiamati alcuni aspetti fondamentali della teoria dei campi necessari per la comprensione del funzionamento dei componenti dei sistemi elettrici. La teoria e i modelli sviluppati nella prima parte del corso sono infine applicati allo studio delle più comuni macchine elettriche e degli impianti di distribuzione dell'energia elettrica.

### **REQUISITI**

Analisi Matematica 1 e 2, Fisica 1 e 2, Geometria.

### **PROGRAMMA**

- Prima parte: circuiti.

Multipoli e modello circuitale dei fenomeni elettromagnetici, regimi di funzionamento, metodo simbolico. [8 ore]

Grandezze elettriche e loro proprietà, classificazione dei componenti ideali, considerazioni energetiche sui componenti ideali, connessioni tra i componenti. [12 ore]

Metodi di analisi dei circuiti elettrici in regime permanente, trasformazioni energetiche nei circuiti. [8 ore]

Circuiti in regime transitorio, transitori del primo e del secondo ordine. [4 ore]

Sistema trifase, definizioni, metodi di soluzione di circuiti trifase equilibrati e squilibrati, misura della potenza. [6 ore]

- Seconda parte: campi.

Richiami sui campi vettoriali e sulle loro proprietà, equazioni di Maxwell, campo di corrente statico, leggi fondamentali dei circuiti in forma locale. [4 ore]

Dispersori e impianti di terra, cenni sulle normative antinfortunistiche, dimensionamento e protezione dei conduttori. [4 ore]

Campo elettrostatico, capacità e rigidità dielettrica, campo elettrico quasi stazionario, corrente di spostamento. [2 ore]

Campo magnetico statico e quasi stazionario, proprietà dei materiali ferromagnetici, circuiti magnetici, relè differenziale, auto- e mutue induttanze, generalizzazione del potenziale elettrico e forze elettromotrici indotte. [6 ore]

Energia magnetica, perdite nel ferro, conversione elettromeccanica dell'energia, elettromagneti, motori a riluttanza passo-passo. [6 ore]

- Terza parte: macchine elettriche.

Trasformatore ideale, trasformatore reale e circuito equivalente, prove sul trasformatore, trasformatore trifase, parallelo di trasformatori, cenni su autotrasformatore e trasformatori di misura. [8 ore]

Campo magnetico rotante, motore asincrono trifase e circuito equivalente, prove sui motori asincroni, avviamento e regolazione della velocità nei motori asincroni, macchina a induzione, motore asincrono monofase. [6 ore]

Macchina elettrica a corrente continua, tipologie di eccitazione e circuiti equivalenti, commutazione, motori *brushless*. [4 ore]

Cenni sul generatore sincrono. [2 ore]

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

- Analisi dei circuiti in regime stazionario e quasi stazionario. [12 ore]
- Campi di corrente, elettrici e magnetici. [6 ore]
- Macchine elettriche. [8 ore]

## BIBLIOGRAFIA

Testo di supporto:

P.P. Civalleri, *Elettrotecnica*, Levrotto & Bella, Torino.

Testi per approfondimenti:

V. Daniele, A. Liberatore, R. Graglia, S. Manetti, *Elettrotecnica*, Monduzzi, Bologna.

A.E. Fitzgerald, C. Kingsley, A. Kusko, *Macchine elettriche*, Angeli, Milano.

## ESAME

L'esame è composto da una prova scritta e da un colloquio. La prova scritta richiede la soluzione di tre problemi relativi ad argomenti svolti durante il corso; durante tale prova è consentita la consultazione di testi ed appunti.

Il superamento della prova scritta è vincolante per l'ammissione al colloquio orale, che deve essere sostenuto nell'ambito dello stesso appello.

Per partecipare all'esame è necessario effettuare la prenotazione consegnando lo statino. Durante il corso vengono svolti due compiti scritti riservati agli iscritti regolari per ottenere l'esonero dalla prova scritta.

## **B1901      FISICA GENERALE I**

Anno: I	Periodo: 2			
Impegno(ore):	lezioni: 78	esercitazioni: 26	laboratori: 6	(ore nell'intero periodo)
Docente:	<b>Paolo ALLIA</b>	(Collaboratore: Arianna Montorsi)		

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire gli elementi per la comprensione delle leggi classiche della meccanica del punto materiale e dei sistemi di particelle, della statica, della dinamica dei fluidi, dell'elettrostatica nel vuoto, insieme con gli strumenti per la risoluzione dei relativi problemi.

### **REQUISITI**

E' opportuno che lo studente abbia frequentato il corso di *Analisi Matematica I* e segua contemporaneamente il corso di *Geometria*.

### **PROGRAMMA**

- 1 - Cinematica del Punto (Moto rettilineo; Moto nel piano: posizione e velocità; Moto circolare; Moto parabolico dei corpi; Moto nello spazio)
- 2 - Dinamica del punto (Principio di inerzia, Leggi di Newton, Quantità di moto, impulso, Risultante delle forze, equilibrio, reazioni vincolari, Classificazione delle forze, Azione dinamica delle forze, Pendolo semplice, Lavoro, potenza ed energia cinetica, Forze conservative ed energia potenziale, Conservazione dell'energia meccanica, Relazione fra energia potenziale e forza, Momento angolare, Forze centrali)
- 3 - Moti relativi (Sistemi di riferimento; Velocità e accelerazione relative; Sistemi di riferimento inerziali; Moto di trascinamento rettilineo uniforme; Moto di trascinamento rettilineo accelerato; Moto di trascinamento rotatorio uniforme)
- 4 - Dinamica dei sistemi di punti materiali (Sistemi di punti: forze interne e forze esterne; Centro di massa. Moto del centro di massa; Conservazione della quantità di moto; Teorema del momento angolare; Conservazione del momento angolare; Teoremi di Koenig; Teorema dell'energia cinetica; Urti)
- 5 - Gravitazione (Forza e campo gravitazionale; Energia potenziale gravitazionale)
- 6 - Cenni di dinamica del corpo rigido e di statica (Moto di un corpo rigido: rotazioni attorno ad un asse fisso; Momento di inerzia; Teorema di Huygens-Steiner; Puro rotolamento; Giroscopi; Statica)
- 7 - Proprietà meccaniche dei fluidi (Pressione, viscosità. Fluido ideale; Moto di un fluido. Regime stazionario. Portata; Teorema di Bernouilli; Moto laminare; Moto vorticoso. Numero di Reynolds)
- 8 - Oscillazioni e onde (Equazione dell'oscillatore armonico semplice; Oscillatore armonico smorzato da una forza viscosa; Oscillatore forzato e risonanza; Introduzione ai fenomeni ondulatori; Onde in una corda tesa)
- 9 - Forza elettrica e campo elettrostatico (Cariche elettriche. Isolanti e conduttori; Legge di Coulomb; Campo elettrostatico; Linee di forza; Legge di Gauss)
- 10 - Lavoro elettrico e potenziale elettrostatico (Lavoro della forza elettrica; Calcolo del potenziale elettrostatico; Energia potenziale elettrostatica; Il campo come gradiente del potenziale; Superfici equipotenziali; Dipolo elettrico)
- 11 - Conduttori. Energia elettrostatica (Conduttori in equilibrio; Conduttore cavo. Schermo elettrostatico; Condensatori; Energia del campo elettrostatico).

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

In aula: applicazione dei concetti teorici alla risoluzione di semplici problemi di meccanica ed elettrostatica.

In laboratorio: misurazione dell'accelerazione di gravità mediante la caduta dei gravi e mediante il pendolo semplice; misurazione dell'indice di rifrazione di un prisma, con applicazioni della teoria della misura.

## BIBLIOGRAFIA

- Mazzoldi, Nigro, Voci: *Fisica, Volume I* - seconda edizione - EdiSES, Napoli  
Mazzoldi, Nigro, Voci: *Fisica, Volume II* - prima edizione - EdiSES, Napoli  
Rosati, Casali: *Problemi di Fisica Generale I* - Ambrosiana, Milano  
Mussino: *Fisica I - Esercizi e Temi d'esame svolti* - Progetto Leonardo, Bologna  
Fazio, Guazzoni: *Problemi di Fisica Generale*, Ambrosiana, Milano

## ESAME

Ogni appello d'esame è costituito da una prova scritta e una orale. Sono ammessi all'esame orale i candidati che superano la prova scritta con almeno 15/30.

Gli studenti che intendono sostenere la prova scritta devono prenotarsi facendo uso dell'apposito sistema informatizzato di prenotazione disponibile presso la segreteria didattica del dipartimento di Fisica.

La durata della validità di una prova scritta superata in uno qualsiasi degli appelli è estesa sino all'appello di maggio (per gli avari diritti) o sino all'ultimo appello di febbraio.

Gli studenti che intendono sostenere l'esame orale devono prenotarsi facendo uso dell'apposito sistema informatizzato di prenotazione disponibile presso la segreteria didattica del dipartimento di Fisica.

Tutti i candidati devono esibire libretto e statino alla prova orale.

## **B1901 FISICA GENERALE I**

Anno: 1	Periodo: 2		
Impegno (ore):	lezioni: 6	esercitazioni: 2	(ore settimanali)
Docenti:	<b>Felice IAZZI</b>		

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire i primi rudimenti della teoria della misura e gli elementi per la comprensione delle leggi classiche di: meccanica del punto e dei sistemi, statica, fisica dei fluidi, elettrostatica e ottica geometrica, insieme agli strumenti per la soluzione dei relativi problemi.

### **REQUISITI**

È opportuno che lo studente abbia seguito il corso di Analisi I e segua in contemporanea il corso di Geometria.

### **PROGRAMMA**

- Teoria della misura e degli errori

Misure e grandezze fisiche, sistemi di unità di misura ed equazioni dimensionali. Errore di misura assoluto e relativo, errore diretto e indiretto: propagazione dell'errore. Concetto probabilistico del valore medio e dello scarto quadratico medio: cenno al teorema del limite centrale. Istogrammi.

- Cinematica

Sistemi di riferimento, grandezze vettoriali e loro componenti nei sistemi cartesiani. Rappresentazione vettoriale di posizione, velocità e accelerazione: equazioni del moto. Caduta libera dei gravi. Coordinate intrinseche e cilindriche. II e III legge di Keplero, Moti relativi: sistemi di riferimento inerziali e non. Trasformazioni galileiane; accelerazione di trascinamento e accelerazione di Coriolis. Effetti dell'accelerazione di Coriolis sulla Terra: cenni su caduta dei gravi verso oriente, erosione delle sponde dei fiumi.

- Dinamica

Dinamica del punto: il punto fisico, massa e densità di massa. Forza: definizione statica. Principali tipi di forze: gravitazionale, elettrostatica, di attrito, vincolare, di funi, elastica e di Lorentz. I 3 principi della Dinamica. Forze fittizie in sistemi di riferimento non inerziali. Diagramma di corpo libero. Quantità di moto e impulso di una forza: teorema dell'impulso. Lavoro ed energia cinetica: teorema del lavoro. Forze conservative: energia potenziale, potenziale, teorema del lavoro per forze conservative. Energia meccanica. Principali tipi di forze conservative. Campi: definizione, campi conservativi, campo gravitazionale e campo elettrostatico, Campi centrali. Momento angolare e momento della forza: proprietà. Teorema del momento e teorema dell'impulso di momento. Sistemi di punti fisici: sistemi discreti e continui. Forze interne ed esterne. Centro di massa. I equazione della dinamica dei sistemi. Teorema dell'impulso per i sistemi. II equazione della dinamica dei sistemi. Lavoro, energia cinetica e potenziale di un sistema. Teorema del lavoro e teorema di König. Urti: forze impulsive, conservazione della quantità di moto. Urti elastici, anelastici e completamente anelastici. Sistemi a massa variabile. Corpo rigido: moto traslatorio e rotatorio attorno ad un asse fisso. Momento d'inerzia: teorema di Huyghens. Energia cinetica del corpo rigido. Momento angolare del corpo rigido: assi principali d'inerzia. II equazione cardinale della dinamica per il corpo rigido. Lavoro ed energia cinetica del corpo rigido. Conservazione del momento angolare assiale nel corpo rigido. Giroscopio e trottola (cenni). Rotolamento puro e con strisciamento.

- Statica

Statica dei sistemi: risultante dalle forze esterne e momento totale delle forze esterne nulli come condizione necessaria e sufficiente della statica. Equilibrio stabile e instabile.

## - Fisica dei fluidi

Il concetto di pressione. Definizione di fluidi ideali e reali. Statica dei fluidi: teorema di Stevino in forma generale. Applicazioni del teorema di Stevino al campo gravitazionale ed ai liquidi in sistemi non inerziali. Dinamica dei fluidi ideali: teorema di Bernoulli. Portanza di un aeroplano. Cenni sull'effetto Magnus.

## - Elettrostatica

La carica elettrica, distribuzione di cariche elettriche discrete e continue. Forza di Coulomb. Campo e potenziale elettrostatico. Campi vettoriali e scalari. Campi generati da una distribuzione di cariche. Dipolo elettrico: Campo e potenziale generato da un dipolo, forza subita da un dipolo in un campo elettrico. Teorema di Gauss, teorema della divergenza ed equazione di Poisson. Distribuzioni di carica a simmetria piana, cilindrica e sferica. Analogie col campo gravitazionale. Conduttori: proprietà e distribuzioni di carica all'interno. Condensatori: capacità, condensatori in serie e in parallelo, circuiti di condensatori, energia immagazzinata nel condensatore, forza tra le armature di un condensatore piano.

## - Ottica geometrica

Principio di Fermat. Leggi della riflessione e della rifrazione dedotti dal principio di Fermat. Compatibilità col principio di Huyghens. Riflessione totale. La formazione dell'immagine in specchio sferico e piano. Diottri e lenti sottili.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

In aula: esercizi applicativi sul programma del corso, suddivisi in preliminari e fondamentali. In laboratorio (computer online): misurazione dell'accelerazione di gravità mediante la caduta dei gravi e mediante il pendolo semplice, con applicazioni della teoria della misura.

## **BIBLIOGRAFIA**

S. Rosati, *Fisica Generale I. Edizione* - Casa Editrice Ambrosiana Milano (CEAM)

G. Lovera, B. Minetti, A. Pasquarelli, *Fisica Generale I* - Editrice Levrotto e Bella

S: Rosati, L. Lovitch, *Fisica Generale II.* - Casa Editrice Ambrosiana Milano (CEAM)

Esercizi:

S. Rosati, R. Casali, *Problemi di fisica Generale I*

B. Minetti, A. Pasquarelli, *Esercizi di Fisica I.* - Ed. Levrotto e Bella

S. Rosati, L. Lovitch, *Problemi di Fisica Generale II*

## **ESAME**

1. Ogni appello d'esame è costituito da 1 prova scritta e 1 orale: la prova scritta avviene nella data, nell'ora dell'appello. È consentito l'uso di libri e appunti durante la prova.
2. Subito dopo la consegna della prova scritta, avverrà la correzione della medesima nella stessa aula: al termine della correzione i candidati che ritengono opportuno possono ritirare la prova consegnata.
3. I candidati che non ritirano la prova sono tenuti a sostenere l'esame orale (nella data che sul momento si stabilisce): la prova scritta costituisce la prima domanda dell'esame.
4. La prova scritta del primo appello dopo il termine delle lezioni può fungere da esonero delle prove scritte degli appelli successivi su richiesta del candidato, il quale dovrà apporre la scritta ESONERO accanto al proprio nome: se la prova avrà esito superiore o uguale a 18/30 il candidato non dovrà più sostenere la prova scritta negli appelli successivi.
5. Gli studenti che intendono sostenere l'esame in un dato appello sono invitati a scrivere il proprio nome (in stampatello) sull'apposito foglio affisso nella bacheca interna del Dipartimento di Fisica entro 2 giorni prima dell'appello.
6. Tutti i candidati devono esibire libretto e statino alla prova orale.

## **B1902      FISICA GENERALE II**

Anno: 2	Periodo: 1			
Impegno (ore):	lezioni: 6	esercitazioni: 2	laboratori: 2	(ore settimanali)
Docente:	<b>Laura TROSSI</b> (collab.: E. Tresso)			

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo dei corsi di fisica è quello di dare una visione coerente ed unificata dei fenomeni fisici e dei metodi che ne permettono lo studio. Nella prima parte del corso di Fisica 2 vengono trattate le interazioni elettromagnetiche analizzate in termini di campi. Sono discusse le leggi fondamentali dell'elettromagnetismo (nel vuoto e nella materia) che si compendiano nelle equazioni di Maxwell. Particolare rilievo è dato allo studio dell'onda elettromagnetica, come estensione delle equazioni di Maxwell e dei fenomeni ondulatori, quali interferenza, diffrazione e polarizzazione. Viene fornita una breve introduzione alla meccanica quantistica, base per lo studio della struttura della materia. Sono analizzati i concetti base della termodinamica classica con alcuni cenni di termodinamica statistica.

### **REQUISITI**

Conoscenza degli argomenti trattati nel corso di Fisica 1.

### **PROGRAMMA**

- Campo elettrostatico in un dielettrico [6 ore]  
Trattazione macroscopica dei dielettrici isotropi. Trattazione microscopica: polarizzabilità elettronica di un gas. Polarizzabilità dei solidi: suscettività dielettrica come tensore. Condizioni al contorno per i vettori campo elettrico e spostamento elettrico.
- Correnti elettriche in regime stazionario [2 ore]  
Legge di Ohm. Effetto Joule - Forza elettromotrice. Interpretazione microscopica della conduzione dei metalli.
- Campo magnetico statico.[8 ore]  
La forza di Lorentz. Moto di cariche in campi magnetici. Ciclotrone, spettrometro di massa, effetto Hall, esperimento di Thomson. Forze magnetiche su correnti. - Galvanometro. Campi magnetici generati da correnti stazionarie. Legge della circuitazione di Ampère.
- Proprietà magnetiche dei materiali. [4 ore]  
Analogia tra dipoli elettrici e magnetici. Magnetizzazione. Descrizione macroscopica sostanze dia-para-ferromagnetiche.
- Fenomeni induttivi:[4 ore]  
Legge di Faraday - Lenz - Henry. Betatrone. Principio di conservazione della carica. Equazione di Ampère - Maxwell. Autoinduzione - Energia campo magnetico (circuito RL).Oscillazioni libere. (circuito LC), oscillazioni (circuito RLC) libere e forzate. Reattanza e impedenza ricavate con metodo simbolico. Mutua induzione; Trasformatore.
- Onde [2 ore]  
Descrizione del moto ondulatorio, propagazione dell'onda in una corda.
- Onde elettromagnetiche.[10 ore]  
Equazioni di Maxwell, onde elettromagnetiche. Energia, intensità quantità di moto dell'onda E.M. Teorema di Poynting. Velocità di gruppo- Effetto Döppler. Spettro elettromagnetico. La luce. Interazione onda Elettromagnetica con la materia. Spettro di corpo nero, ipotesi di Plank.Quantizzazione dell'energia elettromagnetica: l'effetto fotoelettrico. Aspetto corpuscolare della radiazione elettromagnetica: l'effetto Compton. Propagazione onde elettromagnetiche nella materia: dispersione (indice di rifrazione e costante dielettrica).
- Ottica ondulatoria. [8 ore]  
Interferenza di onde prodotte da 2 sorgenti. Coerenza. Interferenza da N sorgenti coerenti, da

lamine. Onde stazionarie. Diffrazione: fenomeni di Fraunhofer da una fenditura. Potere risolutore. Reticolo di diffrazione e calcolo del suo potere risolutore. Diffrazione da cristalli, di raggi X. Polarizzazione della luce. Sostanze dicroiche. angolo di Brewster, attività ottica. Onda E.M. in mezzi anisotropi. Elissoide di Fresnel, lamina birfrangente.

- Struttura della materia. [10 ore]

Proprietà ondulatorie della materia: diffrazione di elettroni. Relazione di de Broglie, Funzione d'onda. Equazione d'onda. Equazione di Schrödinger. Principio di indeterminazione di Heisenberg. Livelli energetici di una particella carica in un potenziale. "a scatola". Principio di funzionamento del laser.

- Termodinamica [12 ore]

Definizione operativa di temperatura, termometro a gas. definizione quantità di calore, calorimetro di Bunsen. Trasformazioni termodinamiche., capacità termiche. Equivalente meccanico delle caloria. Lavoro- Calore. 1° principio della T. Gas perfetti: equazione di stato, equazione isoterma e adiabatica. Teoria cinetica dei gas. 2° Principio Termodinamica. Ciclo di Carnot. Teorema di Carnot. Scala termodinamica della temperatura. Teorema di Clausius. Entropia.

- Termodinamica statistica [4 ore]

Entropia e Probabilità. Ripartizione statistica di Boltzmann. Distribuzione delle velocità. Funzione di partizione.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

I laboratori prevedono:

- Misura di resistenza con ponte di Wheatstone e di temperatura con sensore PT100;
- studio delle oscillazioni forzate in un circuito RLC mediante uso di oscilloscopio e generatore di segnali, e simulazioni al calcolatore di transistori in circuiti RC e RLC;
- 3) misura di lunghezza d'onda della luce mediante reticolo di diffrazione e misura di indice di rifrazione mediante luce polarizzata e angolo di Brewster (con rivelatore a fotodiodo);
- misura della diffusività termica di un provino metallico.

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. *Voci Fisica* Vol. II.

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. *Voci Fisica termodinamica*

M. Alonso, E.J.Finn, *Elementi di fisica per l'università*. Vol. II, Masson, Milano.

Testi ausiliari:

R. Resnick, D. Halliday, *Fisica I*, Ed. Ambrosiana, Milano (per la parte di termodinamica)

Halliday, Resnick, Kranem *Fisica II*, Ed. Ambrosiana, Milano

Amaldi, Bizzarri, Pizzella, *Fisica generale*, Zanichelli.

## ESAME

- a) L'esame consta di una prova orale, che si svolge dopo che il docente ha acquisito vari elementi di giudizio sullo studente, fra cui l'esito di una prova scritta e le relazioni di laboratorio.
- b) Lo scritto consta di norma di tre esercizi che ricoprono tutto l'arco della materia sviluppata nelle esercitazioni.
- c) L'esame (orale) può essere sostenuto in qualunque appello a partire da quello in cui si è svolto lo scritto stesso, purchè entro l'anno solare. Superato tale tempo senza aver sostenuto l'orale con esito favorevole lo scritto deve essere comunque ripetuto.
- d) La prova scritta rimane valida, nei limiti di tempo di cui al punto precedente, anche nel caso in cui la prova orale non venga superata.
- e) Lo studente che intende sostenere l'orale deve prenotarsi facendo uso del calcolatore presso il Dipartimento di Fisica entro il giorno precedente quello dello scritto. Non occorre prenotarsi per lo scritto.
- f) Lo statino deve essere presentato all'atto di sostenere l'esame orale.

## **B1902    FISICA GENERALE II**

Anno: 2                      Periodo: 1  
Impegno (ore):            lezioni: 70        esercitazioni: 20        laboratori: 20        (nell'intero periodo)  
Docente:                    **Enrica MEZZETTI**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

La prima parte del corso si propone di fornire agli studenti gli elementi di base necessari per la comprensione dell'elettromagnetismo nel vuoto e nella materia, della teoria delle onde elettromagnetiche e dell'ottica ondulatoria. La seconda parte è dedicata alla termodinamica classica con elementi di termodinamica statistica. Il corso termina con l'introduzione di alcuni principi fondamentali di fisica quantistica.

### **REQUISITI**

Fisica I, Analisi I, Geometria

### **PROGRAMMA**

Riferimenti al campo elettrostatico nel vuoto

Campo elettrostatico nei dielettrici: costante dielettrica relativa, polarizzazione, momento elettrico delle molecole, vettore intensità di polarizzazione e induzione dielettrica, polarizzabilità per deformazione e per orientamento

Corrente elettrica stazionaria: intensità e densità di corrente, equazione di continuità, legge di Ohm, legge di Joule, potenziale di estrazione, effetto termoionico ed effetti termoelettrici, effetto fotoelettrico

Campo magnetostatico nel vuoto: magneti e circuiti elettrici, formule di Laplace, forza di Lorentz, campo magnetico generato da una carica in moto, forze agenti tra circuiti, teorema della circuitazione, momento magnetico di un ago magnetico, teorema di equivalenza di Ampere

Campo magnetico nella materia: permeabilità magnetica relativa, sostanze diamagnetiche, paramagnetiche e ferromagnetiche; momento magnetico di un atomo, teorema di Larmor, polarizzazione per deformazione e per orientamento, vettore intensità di magnetizzazione, vettore campo magnetico

Campi elettrici e magnetici lentamente variabili nel tempo: correnti indotte e legge di Farady, autoinduzione, mutua induzione, energia del campo magnetico, oscillazioni elettriche

Campi elettrici e magnetici rapidamente variabili nel tempo: correnti di spostamento, equazioni di Maxwell, onde elettromagnetiche piane, energie e impulso delle onde elettromagnetiche, vettore di Poynting

Ottica ondulatoria: velocità delle onde elettromagnetiche, costante dielettrica e indice di rifrazione, pacchetti d'onda e velocità di gruppo, emissione e assorbimento della luce, polarizzazione

Interferenza: sorgenti coerenti, specchi di Fresnel, distribuzione dell'intensità luminosa nel caso di fenditure rettangolari

Diffrazione: principio di Huyghens-Fresnel, diffrazione di Fraunhofer, reticolo di diffrazione  
Ottica dei corpi anisotropi: ellissoide degli indici e cristalli monoassici, raggio ordinario e straordinario, prismi di Nicol, lamina a quarto d'onda

Termometria: definizione di temperatura, dilatazione termica, sistemi termodinamici, variabili di stato, trasformazioni termodinamiche, equazioni di stato, teoria cinetica dei gas, distribuzione delle velocità, cammino libero medio

Calore e primo principio della termodinamica: capacità termiche e calori specifici, propagazione del calore per conduzione, convezione e irraggiamento, lavoro e calore nelle trasformazioni termodinamiche, principio di equivalenza di Mayer e primo principio della termodinamica, energia interna, applicazioni del primo principio ai gas perfetti

Secondo principio della termodinamica: motore termico e rendimento, ciclo di Carnot, postulati di kelvin-Plank e Clausius, teorema di Carnot, temperatura termodinamica, teorema di Clausius, entropia, equazione dell'energia interna e applicazione al caso di gas reali, interpretazione microscopica e statistica del secondo principio  
Fisica quantistica: funzione d'onda, quantizzazione dell'energia e del momento angolare, applicazione a casi semplici

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Sono previsti esercizi applicativi su argomenti del corso.

L'attività di laboratori prevede esercitazioni pratiche riguardanti l'uso di strumenti elettrici, misura di indici di rifrazione, determinazione di lunghezze d'onda col reticolo di diffrazione, misure di diffusività termiche.

### **BIBLIOGRAFIA**

E. Amaldi, R. Bizzarri, G. Pizzella - *Fisica generale, elettromagnetismo, relatività, ottica* - Zanichelli Editore, Bologna

G. Lovera, R. Malvano, B. Minetti, A. Pasquarelli - *Calore e termodinamica* - Libreria Editrice Universitaria Levrotto&Bella, Torino

M. W. Zemansky, M. M. Abbott, H. C. Van Ness - *Calore e termodinamica per ingegneri*, - Zanichelli Editore, Bologna

### **ESAME**

Prova scritta su argomenti svolti nel corso o in esercitazioni, prova orale

## B2060 FISICA TECNICA

Anno: 3	Periodo: 1	
Impegno (ore):	lezioni: 4	esercitazioni e laboratori: 4 (ore settimanali)
Docente:	Giuseppe RUSCICA	

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

Il corso si propone di:

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

### REQUISITI

Sono propedeutici i corsi di Analisi I e II e di Fisica I e II.

### PROGRAMMA

- Termodinamica - Concetti generali e nomenclatura [2 ore]  
Definizione di sistema e di contorno e sue proprietà. Grandezze primitive e derivate di un sistema. Definizione di corpo semplice omogeneo. Proprietà di un sistema e coordinate termodinamiche. Stato di equilibrio. Equazioni costitutive. Sistemi mono e multicomponente, sistemi eterogenei. Legge di Gibbs. Processo e trasformazione. Definizione di azione calore e lavoro. Processi inversi, reversibili. Processi ciclici.
- Temperatura, lavoro e calore [2 ore]  
Equilibrio Termico. Principio zero. Temperatura. Potenza e lavoro. Unità di misura. Definizione di potenza e di lavoro esterno. Lavoro interno, lavoro lineare e d'attrito.
- Potenza, Lavoro per i corpi omogenei [4 ore]  
Potenza e lavoro termodinamico. Potenza motrice e lavoro motore o "tecnico".  
Lavoro e potenza generalizzati. Equazione di conservazione dell'energia e della potenza meccanica. Calcolo del lavoro scambiato in un ciclo.
- Flusso termico e calore per i corpi omogenei [2 ore]  
Concetto di calore e di flusso termico e unità di misura. Espressioni generali del flusso termico nelle variabili  $(V,T)$  e  $(P,T)$ . Calore latente rispetto al volume e rispetto alla pressione. Capacità termica a pressione e a volume costante. Calcolo del calore scambiato in un ciclo. Applicazioni al caso del gas ideale. Equazione dell'adiabatica.
- Primo principio della Termodinamica [4 ore]  
Formulazione per una trasformazione ciclica. Formulazione per una trasformazione generica. Energia interna, sue proprietà e unità di misura. Definizione di Entalpia, sue proprietà ed unità di misura. Estensione del I Principio ai sistemi aperti. Relazione generale tra le capacità termiche. Applicazione ai gas ideali.
- Secondo Principio della Termodinamica [8 ore]  
Concetto di irreversibilità dei processi. Enunciati secondo Clausius, Kelvin e Plank. Concetto di macchina termica e di efficienza. Macchine motrici ed operatrici. Macchina di Carnot e suo rendimento termodinamico. Limitazioni. Dipendenza del rendimento dalle temperature. Fattore di

Carnot, Temperatura e scala termodinamica. Equazione di Carnot-Clapeyron e funzione entropia. Unità di misura. Conversioni energetiche e teorema dell'energia utilizzabile, Exergia e rendimento exergetico.

- Gas reali [4 ore]

Proprietà dei gas reali, equazioni costitutive. Principio degli stati corrispondenti. Espansione isoentropica e coefficiente di Joule-Thomson. Cambiamenti di fase, vapori. Diagrammi di stato del vapor d'acqua.

- Cicli termodinamici [6 ore]

Trasformazioni nei digrammi di Clapayron, Gibbs, Mollier. Cicli diretti a gas (Otto, Diesel, Joule). Calcolo dei rendimenti. Cicli inversi a gas (Joule), calcolo del COP e dell'efficienza frigorifera. Cicli a vapore (Hirn, Rankine). Concetto di rigenerazione termica. Cicli rigenerativi a gas (Stirling ed Ericsson). Cicli rigenerativi a vapore.

- Miscele di aria e vapore [4 ore]

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

- Conversione diretta dell'energia [2 ore]

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

- Cenni di fluidodinamica [6 ore]

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

- Regimi di moto e misure di portata [2 ore]

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

- Trasmissione del calore - Conduzione [4 ore]

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

- Trasmissione del calore - Convezione [4 ore]

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

- Trasmissione del calore - Irraggiamento [4 ore]

Irraggiamento. Definizioni e Leggi fondamentali. Il corpo nero. Le leggi di Kirchoff.

I corpi reali. Fattore di forma. Scambio di energia tra corpi neri e grigi. Teoria delle reti elettriche equivalenti. Linearizzazione.

- Dispositivi di scambio termico [6 ore]

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

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni riguarderanno:

- Proprietà di un termometro - Corpo termometrico e caratteristica- Temperatura empirica- Costruzione della scala empirica. Termometro a gas [2 ore]

- Unità di misura - Sistema internazionale - Sistema tecnico- Sistema Anglosassone [2 ore]

- Esercizi di calcolo sulle trasformazioni termodinamiche [2 ore]

- Esercizi di calcolo sul lavoro generalizzato [2 ore]

- Esercizi applicativi sul 1° Principio per i sistemi chiusi [2 ore]
  - Esercizi applicativi sul 1° Principio per i sistemi aperti [4 ore]
  - Esercizi applicativi sul 2° Principio per i sistemi chiusi [4 ore]
  - Esercizi applicativi sul 2° Principio per i sistemi aperti [4 ore]
  - Applicazione del teorema dell'energia utilizzabile alla trasformazione ed ai cicli [2ore]
  - Calcolo dei capisaldi di un ciclo a gas con rigenerazione e del suo rendimento [2ore]
  - Calcolo dei capisaldi di un ciclo a vapore con spillamenti e del suo rendimento [2ore]
  - Esercizi di fluidodinamica, regime di moto e calcolo delle portate e delle perdite di carico [2ore]
  - Esercizi sulla trasmissione del calore (Calcolo dei coefficienti di scambio, delle temperature e dei flussi) [2 ore]
  - Esercizi sugli scambiatori di calore, calcolo della temperatura medialogaritmica, del coefficiente globale e della superficie di scambio.
  - Applicazione della teoria dei NUT [2 ore]
  - Esercizi sull'irraggiamento tra corpi neri e corpi grigi con applicazione del metodo delle reti equivalenti [2 ore]
- L'attività di laboratorio prevede:
- Esecuzione di calcoli di bilancio di massa e di energia sui componenti dell'unità di condizionamento didattica. [4 ore]
  - Misure dei capisaldi termodinamici di un ciclo frigorifero e bilanci termici relativi [2 ore]
  - Misure di portata con flange tarate e tubo di Pitot [2 ore]

## BIBLIOGRAFIA

Appunti delle lezioni e materiale didattico distribuito durante il Corso.

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

Mark W. Zemansky, *Calore e Termodinamica*, Ed. Zanichelli, Bologna.

M.W.Zemansky - M.M.Abbott - H.C.Van Ness, *Fondamenti di Termodinamica per Ingegneri Vol. 1 e 2*, Ed. Zanichelli, Bologna.

P.Gregorio, *Esercizi di Fisica Tecnica*, Ed. Levrotto & Bella, Torino.

## ESAME

Gli argomenti di esame corrispondono a tutto il programma svolto compresi quelli affrontati nelle esercitazioni in aula e di misura in laboratorio. L'esame consta di due parti: una scritta ed una orale. Allo scritto viene richiesta la soluzione di alcuni esercizi del genere di quelli svolti ad esercitazione. Il risultato dello scritto è determinante per l'ammissione all'esame orale. Il voto finale è basato su un giudizio complessivo sia sull'attività svolta durante l'anno sia sui risultati delle due prove.

## **B2170 FONDAMENTI DI INFORMATICA**

Anno: 1                      Periodo: 2  
Impegno (ore):    lezioni: 4            esercitazioni: 4            laboratori: 2            (ore settimanali)  
Docente:                      da nominare

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso intende presentare agli allievi gli elementi fondamentali dell'informatica, sia dal punto di vista *hardware*, sia da quello *software*. Vengono fornite le nozioni introduttive sulla struttura degli elaboratori e sulla rappresentazione dell'informazione al loro interno. Una parte consistente del corso sarà dedicata allo studio di un linguaggio di programmazione (FORTRAN) e di alcune applicazioni.

### **PROGRAMMA**

*Parte I* [circa 40% del corso]

Rappresentazione dell'informazione: rappresentazione dei numeri in sistemi a base intera; conversione di base; rappresentazione dei numeri con segno; rappresentazioni in virgola fissa e virgola mobile.

Operazioni algebriche nei codici binari.

Altri codici binari (BCD, ASCII, Gray, ecc.).

Algebra di Boole, funzioni logiche e teoremi fondamentali.

Struttura dell'elaboratore elettronico (parti funzionali, cenni tecnologici, classificazione, cenni sulla misura delle prestazioni).

Funzionamento del calcolatore: cenni sul linguaggio macchina.

Unità periferiche, tecnologie e prestazioni dei principali organi periferici di un sistema di elaborazione.

Linguaggio Assembler (cenni), linguaggi di alto livello, compilatori e interpreti.

Sistemi operativi, multiprogrammazione, sistemi *real-time*, sistema MS-DOS.

*Parte II* [circa 60% del corso]

Strutture informative fondamentali (*code*, *stack*, tabelle, ecc.).

Tecniche di programmazione, linguaggio FORTRAN, sviluppo di programmi.

Algoritmi fondamentali (*sort*, *merge*, ecc.).

Cenni su reti di calcolatori e *software* di utilità.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

In aula saranno svolti esercizi su tutte le parti del corso man mano che vengono sviluppate a lezione.

Sono previsti esercizi sul sistema MS-DOS e di programmazione in linguaggio FORTRAN.

### **BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento:

P. Demichelis, E. Piccolo, *Introduzione all'informatica*, McGraw-Hill.

Testi ausiliari:

T.M.R. Ellis, *Programmazione strutturata in FORTRAN 77*, Zanichelli, 1989.

A.S. Tanenbaum, *Architettura del computer: un approccio strutturale*, Jackson, 1991.

### **ESAME**

L'esame è composto da due prove scritte e una verifica. La prima prova verte su tutti gli argomenti del corso, mentre la seconda consiste nella realizzazione di un programma in FORTRAN. La verifica consiste nell'accertamento della correttezza delle prove scritte e in un eventuale approfondimento orale (a discrezione del docente).



## **B2220 GASDINAMICA**

Anno: 3                      Periodo: 2  
Impegno (ore):            lezioni: 6            esercitazioni: 4            (ore settimanali)  
Docente:                    **Massimo GERMANO** (collab.: Gaetano Iuso)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di dare le basi fisico-matematiche necessarie per analizzare gli effetti di gas reale nei moti fluidi. Particolare attenzione viene dedicata allo studio degli effetti rotazionali, viscosi, termici e chimici in aria ad alti numeri di Reynolds e di Mach. Le conoscenze acquisite vengono applicate allo studio 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. Portanza e resistenza. Resistenza di attrito e di forma. Tecniche di indagine teorica e sperimentale. Sistemi di riferimento. L'ipotesi del continuo. Gas rarefatti. Proprietà termodinamiche e di trasporto. Equazioni di bilancio. Parametri di similitudine. [15 ore]
- Fenomenologia dei flussi. Flussi potenziali. Flussi rotazionali. Flussi viscosi. Flussi termici e chimicamente reagenti. Flussi interni, flussi esterni e flussi liberi. Flussi laminari, transizionali e turbolenti. Flussi attaccati e flussi separati. [6 ore]
- Soluzioni rappresentative. Puri flussi "di punta". Onde d'urto ed onde esplosive. Puri flussi "di taglio". Flussi nei tubi e nei canali. Flussi di mescolamento. [6 ore]
- Equazioni dello strato limite in forma differenziale e in forma integrale. Strato limite laminare. Soluzioni esatte sulla lamina piana e in vicinanza del punto di arresto. Metodo integrale di Thwaites. Separazione laminare. [15 ore]
- Stabilità e transizione dello strato limite laminare. Fenomenologia della turbolenza e sua descrizione statistica. Strato limite turbolento. Modelli di turbolenza. Metodo integrale di Head. Separazione turbolenta. [15 ore]
- Strato limite termico e compressibile. Analogia dei campi e degli scambi. Correzione dei coefficienti di attrito. Dissociazione dell'aria e riscaldamento aerotermodinamico agli alti numeri di Mach. [15 ore]

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Proprietà termodinamiche dei gas e delle miscele. [4 esercitazioni di 2 ore ciascuna]

- Proprietà di trasporto dei gas e delle miscele. [2 eserc. di 2 ore]
- Onde d'urto e moto nei condotti. [5 eserc. di 2 ore]
- Strato limite laminare. [5 eserc. di 2 ore]
- Transizione dello strato limite e strato limite turbolento. [4 eserc. di 2 ore]
- Strato limite termico e compressibile. [4 eserc. di 2 ore]

### **BIBLIOGRAFIA**

Testi di riferimento:

Lezioni: Dispense distribuite dal docente.

Esercitazioni: G. Iuso, F. Quori, *Gasdinamica: problemi risolti e richiami di teoria*, Levrotto e Bella, Torino, 1995.

Testi ausiliari:

H.W. Liepmann, A. Roshko, *Elements of gasdynamics*, Wiley, 1957.

H. Schlichting, *Boundary layer theory*, McGraw-Hill, 1968.

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

## REQUISITI

Aerodinamica

## PROGRAMMA

- Fenomenologia dei flussi: flussi potenziali, flussi rotazionali, flussi viscosi, flussi turbolenti. Flussi interni, flussi esterni, flussi laminari, flussi transizionali e turbolenti. Flussi attaccati e flussi separati. [6 ore]
- Soluzioni rappresentative. Flussi "di punta", "di punta", "di punta", "di punta". Onde d'urto ed onde esplosive. Flussi "di taglio", flussi nei tubi e nei canali. Flussi di mescolamento. [6 ore]
- Equazioni dello strato limite in forma differenziale e in forma integrale. Strato limite laminare e soluzioni esatte sulla lamina piana e in vicinanza del punto di arresto. Metodo integrale di Thwaites. Separazione laminare. [12 ore]
- Stabilità e transizione dello strato limite laminare. Fenomenologia della turbolenza e sua descrizione statistica. Strato limite turbolento. Modelli di turbolenza. Metodo integrale di Head. Separazione turbolenta. [12 ore]
- Strato limite termico e compressibile. Analogia dei campi e degli scambi. Correzione dei coefficienti di attrito. Dissociazione dell'aria e riscaldamento aerotermodinamico agli alti numeri di Mach. [12 ore]

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

- Proprietà termofisiche dei gas e delle miscele. [4 esercitazioni di 2 ore ciascuna]
- Proprietà di trasporto dei gas e delle miscele. [2 eserc. di 2 ore]
- Onde d'urto e moto nei condotti. [2 eserc. di 2 ore]
- Strato limite laminare. [2 eserc. di 2 ore]
- Transizione dello strato limite e strato limite turbolento. [4 eserc. di 2 ore]
- Strato limite termico e compressibile. [4 eserc. di 2 ore]

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:  
Lezioni dispense distribuite dal docente.

## B2300 GEOMETRIA

Anno: 1	Periodo: 2	
Impegno(ore):	lezioni: 72-76 Esercitazioni: 40-44	(nell'intero periodo)
Docente:	<b>Paolo VALABREGA</b>	(I corso)
	<b>Carla MASSAZA</b>	(II corso)

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Nel corso vengono introdotti elementi di Algebra lineare e di Geometria analitica piana e spaziale. Lo studente sarà messo in grado di risolvere semplici problemi che richiedano

- equazioni lineari
- calcolo matriciale
- ricerca di autovalori e diagonalizzazione
- uso di coordinate cartesiane per la rappresentazione di curve e superficie.

### PREREQUISITI

- Numeri (interi, razionali, reali)
- Insiemi e funzioni
- Calcolo letterale, equazioni e disequazioni
- Elementi di geometria euclidea piana e spaziale
- Regole elementari del ragionamento logico (ad esempio: implicazione, equivalenza)
- Elementi di trigonometria piana
- Primi elementi di analisi matematica (limiti, continuità, derivate, integrali).

### PROGRAMMA

- Vettori del piano e dello spazio (2 ore)
- Numeri complessi: operazioni, rappresentazione trigonometrica, radici n-esime.(3-4 ore)
- Polinomi ed equazioni algebriche in campo reale e complesso: radici, principio di identità, teorema fondamentale dell'algebra (1-2 ore)
- Spazi vettoriali: proprietà elementari, sottospazi, somma e intersezione, dipendenza e indipendenza, basi e generatori, dimensione.(5-7 ore)
- Matrici: operazioni, spazi di matrici, matrici simmetriche e antisimmetriche, matrici invertibili.(4-5 ore)
- Sistemi lineari: compatibilità e teorema di Rouché-Capelli, metodi di risoluzione, sistemi ad incognite vettoriali, matrici inverse, determinanti e matrici. (7-8 ore)
- Applicazioni lineari: definizione, nucleo e immagine, suriettività, iniettività, applicazione inversa, applicazioni lineari e matrici; matrici simili e cambiamenti di base. (4-6 ore)
- Autovalori e autovettori: polinomio caratteristico e minimo, teorema di Cayley-Hamilton, auto-spazi, endomorfismi semplici, diagonalizzazione. (5-6 ore)
- Spazi con prodotto scalare e matrici simmetriche (3-5 ore)
- Forma canonica di Jordan (cenni) (2-4 ore)
- Coordinate cartesiane sulla retta e nel piano. Coordinate polari nel piano. (1 ora)
- Rette e circonferenze nel piano. (1-3 ore)
- Coniche in forma canonica e generale. (4-5 ore)
- Coordinate cartesiane e polari nello spazio. (1-2 ore)
- Rette e piani nello spazio. (4-5 ore)
- Sfere e circonferenze. (1-2 ore)
- Superficie nello spazio: coni, cilindri, superficie di rotazione.(4-6 ore)
- Quadriche in forma canonica. Quadriche rigate (3-4 ore)
- Curve nello spazio e curve piane. (1-2 ore)

Funzioni vettoriali di una variabile. (2-3 ore)

Curve regolari e biregolari: versori tangente, normale e binormale, piano osculatore. (3-4 ore)

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Vettori del piano e dello spazio: operazioni e componenti (4 ore)

Esercizi su

- numeri complessi (2 ore)

- spazi vettoriali e sottospazi, dipendenza e indipendenza, basi e generatori, dimensione. (3-5 ore)

- matrici: operazioni, matrici simmetriche e antisimmetriche, matrici invertibili. (3-5 ore)

- sistemi lineari: compatibilità, risoluzione, matrici inverse, determinanti e matrici. (3-5 ore)

- applicazioni lineari: ricerca di nucleo e immagine, suriettività, iniettività, applicazione inversa, (3-4 ore)

- autovalori e autovettori: ricerca, dimensione di autospazi, diagonalizzazione. (3-5 ore)

- rette, circonferenze, coniche nel piano (3-4 ore)

- rette, piani e sfere nello spazio. (3-4 ore)

- superficie nello spazio: coni, cilindri, superficie di rotazione. (4-5 ore)

- quadriche in forma canonica e quadriche rigate (2-3 ore)

- curve nello spazio e curve piane. (2-3 ore)

- curve regolari e biregolari: versori tangente, normale e binormale, piano osculatore. (2-3 ore)

## BIBLIOGRAFIA

Testi consigliati.

1. S. Greco - P. Valabrega *Lezioni di Algebra Lineare e Geometria*

Vol. I Algebra Lineare

Vol. II Geometria Analitica e Differenziale

Ed. Levrotto e Bella, Torino 1994

2. A. Sanini *Lezioni di Geometria* Ed. Levrotto e Bella, Torino, 1994

(Libri di esercizi adatti ai corsi)

3. S. Greco - P. Valabrega *Esercizi risolti di algebra lineare, geometria analitica differenziale* Ed. Levrotto e Bella, Torino, 1994

4. A. Sanini *Esercizi di Geometria* Ed. Levrotto e Bella, Torino, 1994

5. G. Tedeschi *Test di Algebra Lineare e Geometria* Ed. Esculapio, Bologna, 1998

6. N. Chiarli *L'esame di Geometria* Ed. Levrotto e Bella, Torino, 1986

7. G. Cervelli - A. Di Lello *Geometria: esercizi risolti* Ed. Clut, Torino, 1994

8. Talinucci *Lucidi di Algebra Lineare - Lucidi di Geometria* Ed. CELID, Torino, 1997

(Per maggiori approfondimenti su due testi adatti a matematici)

9. E. Sernesi *Geometria 1* Ed. Bollati Boringhieri, Torino, 1990

10. E. Sernesi *Geometria 2* Ed. Bollati Boringhieri, Torino, 1994

11. (Per approfondire aspetti teorici dell'algebra lineare e migliorarci il proprio inglese)

S. Lang *Linear Algebra* Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Mass. 1966

(trad. it. *Algebra lineare*, Ed. Bollati Boringhieri, Torino, 1970)

12. (Per approfondire aspetti concreti dell'algebra lineare)

G. Strang *Algebra lineare e sue applicazioni*, Ed. Liguori, Napoli, 1982

13. (Per approfondire l'algebra lineare su un testo adatto a matematici)

C. Ciliberto *Algebra lineare* Ed. Bollati Boringhieri, Torino, 1994

Sono inoltre disponibili presso le cooperative interne al Politecnico (CELID, CLUT, CUSL) raccolte di test dati negli ultimi anni.

Chi desidera invece i compiti scritti assegnati in appelli d'esame recenti può richiederli allo sportello esterno del Dipartimento di matematica

## ESAME

L'esame si può sostenere con due modalità diverse.

*Primo tipo. Esame con due prove scritte durante il semestre.*

Lo studente potrà sostenere due prove scritte, che si svolgeranno a metà e al termine del corso, durante le quali sarà vietato usare libri o appunti.

I prova scritta: sarà un test a risposta multipla riguardante la prima parte del corso (Algebra lineare e numeri complessi);

II prova scritta: lo studente dovrà svolgere esercizi di geometria analitica piana e spaziale

Chi raggiungerà un punteggio totale minimo da stabilire potrà sostenere direttamente la prova orale in un qualunque appello fra giugno e ottobre.

*Secondo tipo. Esame con prova scritta tradizionale.*

Lo studente che non possa o non voglia utilizzare le prove precedenti sosterrà una prova scritta nella quale dovrà risolvere esercizi e problemi sugli argomenti del corso, seguita da una prova orale.

## B3110      **MACCHINE**

Anno: 4                      Periodo: 1  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni: 4      laboratori: 6      (nell'intero periodo)  
Docente:                      da nominare

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

### **REQUISITI**

Fisica Tecnica e Meccanica Applicata alle Macchine

### **PROGRAMMA**

*Richiami di Termodinamica.* Classificazione delle macchine a fluido. I Principio della Termodinamica in forma Lagrangiana ed espressione del lavoro "esterno". I Principio della Termodinamica in forma Euleriana e sua espressione in forma "mista". II Principio della Termodinamica; calcolo delle variazioni di entropia tra stati di equilibrio. Legge di evoluzione; gas ideali e quasi-ideali: variazione delle capacità termiche massiche a pressione ed a volume costante con la temperatura. Correlazione tra le linee e le aree nei piani  $p,v$  e  $T,s$ . Esempi applicati del I Principio della Termodinamica in forma Lagrangiana. [ 4 ore]

*Moto dei fluidi nei condotti.* Classificazione dei rendimenti e dei lavori per le macchine motrici ed operatrici; consumi specifici di calore e di combustibile. Lavoro di recupero e di contro recupero e loro evidenziazione nei diagrammi  $p,v$  e  $T,s$ . Definizione di velocità del suono e delle grandezze totali di una corrente. Correlazione tra le proprietà di un fluido e l'andamento delle aree delle sezioni trasversali del condotto. Determinazione dei parametri critici di una corrente. Determinazione della portata in un ugello; andamento del prodotto  $\rho A c$ , del numero di Mach e della velocità in un condotto al variare del rapporto di espansione. Dimensionamento di un condotto a fissati parametri di progetto; andamento della portata in un condotto semplicemente convergente al variare del rapporto di espansione. Determinazione della portata in un condotto semplicemente convergente. Ugello di De Laval: comportamento al variare delle condizioni di valle. Determinazione della pressione limite e di adattamento nell'ugello di De Laval; metodi per la determinazione del tipo di flusso in un condotto convergente-divergente. Approssimazione ellittica. Flusso non isoentropico di un diffusore e di un effusore. [8 ore]

*Impianti a vapore.* Simbologia degli impianti a vapore. Confronto tra la turbina a vapore e la turbina a gas. Ciclo a vapore Rankine-Hirn sui diagrammi  $T,s$  e sul diagramma di Mollier; espressione del rendimento limite, del lavoro e del calore scambiato. Metodi per aumentare il rendimento del ciclo Rankine. Impianti a vapore in condizioni fuori progetto; influenza della pressione di ammissione, della pressione di scarico e del numero di giri. Regolazione per laminazione e parzializzazione. Regolazione degli impianti a recupero parziale. Condensatori: particolarità costruttive del condensatore a superficie; superficie necessaria per unità di potenza installata. Organizzazione degli impianti a vapore. [7 ore]

*Turbine.* Espressione del lavoro in una turbomacchina; triangoli di velocità. Turbina assiale semplice ad azione; descrizione della macchina, triangoli di velocità, profili delle palettature; espressione del lavoro e del rendimento nel caso ideale e reale; variazione dei coefficienti di perdita in condizioni di progetto e fuori progetto. Perdite caratteristiche di una turbina ad azione; linea delle condizioni effettive del vapore. Turbina assiale a salti di velocità; descrizione della macchina, triangoli di velocità e profili delle palettature; espressione del lavoro e del ren-

dimento nel caso ideale. Rendimento della turbina a salti di velocità nel caso reale e confronto con la turbina semplice. Turbina a salti di pressione: fattore di recupero. Turbina assiale semplice a reazione; grado di reazione; triangoli di velocità e profili delle palettature; espressione del lavoro e del rendimento nel caso ideale e reale; confronto con la turbina ad azione. Perdite caratteristiche delle turbine a reazione. Studio bidimensionale delle palettature; equilibrio radiale semplice e criterio di svergolamento a "vortice libero". Cenni sulle turbine radiali semplici: salto entalpico elaborabile, espressione del lavoro e triangoli di velocità. [10 ore]

*Turbocompressori.* Lavoro di compressione ideale e reale con scambi termici. Compressione isoterma e interrefrigerata; calcolo del minimo lavoro di compressione. Rendimento isentropico ed idraulico. Compressore centrifugo: triangoli di velocità, lavoro di compressione e sua espressione in funzione dei coefficienti adimensionati. Determinazione della caratteristica manometrica del compressore centrifugo. Grado di reazione e suo andamento al variare dell'angolo di uscita delle palettature. Compressore assiale: triangoli di velocità e profili delle palettature. Espressione del lavoro di compressione e sua espressione in funzione dei coefficienti adimensionati; caratteristica manometrica del compressore assiale. Instabilità di funzionamento del compressore: ciclo di pompaggio e stallo rotante. Problematiche relative all'avviamento dei turbocompressori assiali. Regolazione dei turbocompressori: vari metodi di regolazione di tipo industriale e di tipo aeronautico; confronto tra i vari metodi di regolazione. [11 ore]

*Compressori volumetrici.* Compressori alternativi: ciclo della macchina ed espressione del lavoro nel caso ideale e con perdite. Metodi di regolazione dei compressori alternativi. Compressore rotativo a palette: ciclo della macchina ed espressione del lavoro. Regolazione del compressore a palette per laminazione all'aspirazione. Compressore Roots: ciclo della macchina ed espressione del lavoro; compressione interrefrigerata; andamento del rendimento volumetrico in funzione del numero di giri e del rapporto di compressione. [8 ore]

*Turbopompe.* Definizioni delle grandezze caratteristiche di funzionamento e dei rendimenti delle macchine idrauliche operatrici. Caratteristica di una turbopompa centrifuga e assiale. Problematiche relative all'installazione delle turbopompe: cavitazione ed NPSH. Regolazione e avviamento delle turbopompe. Funzionamento in similitudine delle turbopompe: numero di giri caratteristico. [4 ore]

*Motori alternativi a combustione interna.* Scelta del ciclo ideale per motori ad accensione comandata e ad accensione per compressione; espressione del rendimento ideale per i cicli Otto, Diesel e Sabathé. Espressione della potenza utile e della pressione media effettiva di un motore alternativo a combustione interna. Rendimento limite, rendimento termofluidodinamico e rendimento organico. Rendimento utile e suo andamento al variare del numero di giri del motore. Apparato della distribuzione nei motori alternativi. Coefficiente di riempimento dei motori alternativi a quattro tempi; espressione semplificata del coefficiente di riempimento e suo andamento al variare del numero di giri del motore. Caratteristica meccanica, di regolazione e cubica di utilizzazione dei motori ad accensione comandata ed ad accensione per compressione. Combustione nei motori ad accensione comandata: velocità di combustione e di propagazione della fiamma; cenni sulla teoria di Nusselt e sulle anomalie di combustione. Variazione dei rendimenti e della pressione media effettiva con la dosatura, variazione del rendimento utile in funzione della pressione media effettiva in un motore ad accensione comandata; regolazione di "tipo aeronautico". Variazione della potenza utile del motore con la quota di volo. Motori "alleggeriti" e "surcompressi". Problematiche relative alla sovralimentazione dei motori. Determinazione della potenza utile del motore sovralimentato mediante compressore mosso da turbina a gas di scarico e a "comando meccanico". Apparati di alimentazione per motori ad accensione comandata: carburatore elementare. [22 ore]

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Determinazione della caratteristica di una turbopompa assiale ed individuazione delle condizioni di cavitazione. Determinazione della caratteristica meccanica di un motore alternativo ad

accensione comandata. Visita alla raccolta dei motori aeronautici del Dipartimento di Energetica e descrizione delle principali caratteristiche costruttive. Il corso verrà suddiviso in un numero di squadre sufficiente a permettere una fattiva partecipazione dello studente a tali esercitazioni.

Vengono sviluppati esercizi numerici sulle prestazioni delle macchine a fluido trattate a lezione negli otto capitoli indicati. Gli esercizi verranno forniti dal docente durante le lezioni precedenti la relativa esercitazione. Altri esercizi relativi ai testi d'esame degli a.a. precedenti saranno resi disponibili durante il semestre.

## **BIBLIOGRAFIA**

A. Beccari, *Macchine I* vol., CLUT Torino, 1980. A. Beccari, C. Caputo, *Motori Termici Volumetrici*, UTET, 1987. A.E. Catania, *Complementi di Macchine*, Levrotto & Bella, Torino 1979. A. Capetti, *Motori Termici*, UTET 1967. A. Capetti, *Compressori di Gas*, V. Giorgio, Torino 1971. A. Dadone, *Macchine Idrauliche*, CLUT Torino 1980.

## **ESAME**

L'esame consta di una prova scritta della durata di tre ore e di una successiva parte orale.

Orario di ricevimento: verrà indicato all'inizio del semestre nella bacheca della Segreteria Didattica Interdipartimentale - Area Sud.

## **B3210      MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE**

Anno: 3                      Periodo 2  
Impegno (ore):          lezioni: 72          esercitazioni: 48          (nell'intero periodo)  
Docente:                    **Furio VATTA**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

### **REQUISITI**

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

### **PROGRAMMA**

- Equazioni cardinali della dinamica:

Equilibramento statico e dinamico. Equilibramento del monocilindro, del bicilindro, del quattro cilindri in linea e del sei cilindri in linea.

Assi centrali d'inerzia: corpo rotante e determinazione delle reazioni vincolari. Fenomeni giroscopici: elica bipala. Indicatore di virata e piattaforma inerziale. Vibrazioni ad un grado di libertà libere e forzate. Funzione di trasferimento. Accelerometro e sismografo. integrale di Duhamel. Sistemi a due gradi di libertà: frequenze proprie e modi. Determinazione delle coordinate principali.

- Equazione dell'energia:

Applicazione a trazione, torsione e flessione. Carico di punta. Molle in serie e parallelo. Camme: problema dinamico, equazione dell'involuppo.

Macchine a regime periodico: calcolo di verifica e di progetto.

- Principio dei lavori virtuali:

Ammortizzatore dinamico, bifilare e Houdaille. Sistemi di forze non conservativi: flutter ala-alettone. Velocità critica flessionale per alberi rotanti: influenza del volano e dei supporti anisotropi.

- Sistemi continui elastici:

Corda tesa; vibrazioni libere longitudinali e torsionali per travi a sezione costante. Vibrazioni libere flessionali per travi. Vibrazioni forzate. Metodo delle coordinate principali. Principio dell'Hamilton; criterio di Rayleigh-Ritz. Applicazione a torsione, flessione e cavo teso. Trave trascinata in rotazione: determinazione delle frequenze proprie.

- Attrito:

Attrito radente: leggi di Coulomb. Sistema vite-madrevite:

reversibilità del moto. Attrito ai perni. Attrito volvente e cuscinetti a rotolamento.

- Freni:

Ipotesi di Reye; freni ceppo-nastro ad accostamento rigido e libero. Freni ceppo-tamburo esterni ed interni ad accostamento rigido e libero.

Freni a disco. Frizioni piane e coniche.

- Cinghie:

Cinghie piane: rapporto di trasmissione, rendimento, coppia e velocità limite. Cinghie trapezie. Forzamento delle cinghie.

- Ruote dentate e rotismi:

Ruote cilindriche a denti dritti; proporzionamento modulare, minimo numero di denti, segmento di ingranamento, numero di coppie di denti in presa. Forze scambiate. Ruote cilindriche elicoidali: grandezze normali e frontali, forze scambiate minimo numero di denti, coppie di denti in presa.

Ruote coniche: forze scambiate e minimo numero di denti. Vite senza fine-ruota elicoidale: forze scambiate e rendimento. Rotismi ordinari ed epicicloidali. Formula di Willis: applicazione al differenziale automobilistico ed al variatore del passo dell'elica.

- Lubrificazione:

Accoppiamento prismatico: capacità di carico e diagrammi di progetto. Pattino ad allungamento finito. Lubrificazione idrostatica: cuscinetto ibrido. Perno-cuscinetto: calcolo della capacità di carico in condizioni stazionarie. Carico dinamico.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni si effettueranno in aula: agli allievi vengono assegnati alcuni esercizi da svolgere; tali esercizi sono successivamente affrontati e discussi dal docente. In aula è presente il docente titolare del corso, un ricercatore, ed uno studente coadiutore.

## BIBLIOGRAFIA

Malvano - Vatta, *Dinamica delle macchine*, Levrotto & Bella, 1993

Malvano - Vatta, *Fondamenti di lubrificazione*, Levrotto & Bella, 1990

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

## ESAME

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

## B3300 MECCANICA DEL VOLO

Anno: 4      Periodo: 1  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni: 2      (ore settimanali)

Docente: *da nominare*

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Nel corso sono presentati gli aspetti fondamentali delle caratteristiche di volo e della stabilità del velivolo. Il programma comprende elementi di teoria sulla formulazione del modello matematico dell'aeromobile e sulla sua specializzazione all'analisi delle prestazioni e della stabilità statica e dinamica. Tali elementi sono associati ad argomenti di carattere descrittivo ed esplicativo sulle modalità funzionali ed operative dei velivoli, in relazione alle tipologie di missione ed alle normative vigenti.

### REQUISITI

Meccanica razionale, Aerodinamica.

### PROGRAMMA

- Concetti introduttivi e richiami di aerodinamica. [10 ore]

Elementi costitutivi del velivolo, superfici di governo, sistema di controllo.

Il profilo: caratteristiche geometriche, centro aerodinamico, polare, efficienza aerodinamica. L'ala: principali parametri geometrici e loro relazione con il comportamento aerodinamico, la polare, lo stallo, l'effetto *nose-up* dell'ala a freccia. La polare del velivolo completo. Polare con ipersostentatori. Dipendenza della polare dal numero di Reynolds e dal numero di Mach.

- Le equazioni del moto del velivolo. [4 ore]

Terme di riferimento caratteristiche, principali ipotesi semplificative. Equazioni cardinali del moto per il velivolo rigido. Angoli di Eulero, orientamento e traiettoria del velivolo. Equazioni scalari del moto in assi corpo ed in assi vento. Specializzazione delle equazioni del moto allo studio delle prestazioni.

- I sistemi propulsivi. [5 ore]

Concetti generali: spinta e potenza, rendimento propulsivo. Le eliche: parametri geometrici e di funzionamento, formule di Renard, passo fisso e passo variabile, stadi di funzionamento. L'interazione tra elica e velivolo, le coppie giroscopiche. Potenza disponibile motoelica e turboelica. Spinta disponibile turbogetto e *turbofan*. Consumo specifico per i diversi tipi di propulsore.

- Lo studio delle prestazioni. [15 ore]

Atmosfera *standard*. Velocità caratteristiche di volo.

Volo rettilineo ad assetto simmetrico: l'equazione di equilibrio energetico per l'analisi delle prestazioni. Il volo librato: odografa del moto, massima autonomia oraria e chilometrica, influenza del vento. Spinta e potenza necessaria: influenza della quota, del peso e della configurazione. Caratteristiche di volo dei velivoli propulsi da motoeliche e turbogetti: volo a livello, autonomia nei diversi programmi di volo in crociera, influenza del vento, effetto del numero di Mach. Stabilità propulsiva: influenza della configurazione. Inviluppo di volo per velivoli subsonici e supersonici. Caratteristiche di salita di aerei propulsi da motoeliche o turbogetti: criteri di salita, influenza del peso e della configurazione, quota di tangenza, salita in moto vario, tempo minimo e consumo minimo. Spazi di decollo e di atterraggio, influenza del vento, pista bilanciata.

- Il volo in manovra. [4 ore]

Fattori di contingenza. Spinta e potenza necessaria in manovra, inviluppo di volo in moto vario, diagramma di manovra. La virata: piatta, corretta, spinta e potenza necessaria. Margini di manovra in volo orizzontale. La richiamata: raggio minimo.

- La stabilità statica e il controllo. [13 ore]

Condizioni di equilibrio stazionario nel piano di simmetria. Stabilità statica longitudinale. Margine statico a comandi fissi e a comandi liberi. Stabilità in manovra. Controllo longitudinale. Sforzi di barra, compensazione aerodinamica. Posizione limite anteriore del baricentro. Stabilità alle velocità transoniche. Stabilità statica latero-direzionale; influenza del diedro e della freccia alare. Controllo latero-direzionale. Funzioni e requisiti del timone. Volo con spinta asimmetrica, volo in derapata stazionaria.

- La stabilità dinamica. [15 ore]

Richiami sul metodo della trasformata di Laplace. Linearizzazione delle equazioni fondamentali del moto. Derivate delle forze aerodinamiche e propulsive. Equazioni linearizzate in forma di stato. Autovalori ed autovettori. Stabilità dinamica a comandi bloccati, modi caratteristici longitudinali e latero-direzionali, influenza della posizione del baricentro. Modelli dinamici semplificati.

- La risposta del velivolo come sistema open-loop. [5 ore]

Risposta ai controlli. Le qualità di volo: criterio di Cooper-Harper.

- Moti stazionari fuori del piano di simmetria. [4 ore]

Condizioni di volo non simmetrico stabilizzato: variabili di controllo in virata corretta. Effetti inerziali nelle manovre di rollio: il fenomeno del *roll-coupling*.

- Autorotazione e vite. [4 ore]

Criterio di Knight per l'analisi delle condizioni di autorotazione. La vite: condizioni di equilibrio, effetti aerodinamici ed inerziali. Manovre di uscita dalla vite.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni riguarderanno:

- Calcolo dei coefficienti aerodinamici del profilo e del velivolo.

- Determinazione delle velocità caratteristiche. [2 ore]

- Caratteristiche di volo. [10 ore]

- Determinazione prestazioni in volo librato. Calcolo potenza disponibile motoelica. Calcolo autonomia e sua ottimizzazione. Analisi programmi di volo in crociera in termini di consumi, tecnica di pilotaggio, traffico aereo.

- Salita rapida di un velivolo a getto. Metodo energetico per la determinazione della legge ottima di salita.

- Determinazione dei parametri di volo in virata per un velivolo da combattimento: velocità angolare massima, fattore di carico massimo e raggio minimo. [2 ore]

- Calcolo autovalori della dinamica longitudinale e latero-direzionale per assegnati velivoli. Confronto con il risultato dei modelli approssimati. [2 ore]

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

M. Calcara, *Elementi di aeronautica generale. Vol. 2., elementi di teoria del volo*, CUEN, Napoli, 1983. Dispense del corso.

Testi ausiliari:

A. Lausetti, F. Filippi, *Elementi di meccanica del volo*, Levrotto e Bella, Torino, 1984.

R.C. Nelson, *Flight stability and automatic control*, McGraw-Hill, 1989.

B. Etkin, L.D. Reid, *Dynamics of atmospheric flight-stability and control*, Wiley, New York, 1986.

## ESAME

L'esame consiste in una prova scritta di ammissione ed in una prova orale. Nel corso della prova scritta, della durata di due ore, lo studente deve rispondere a cinque domande, relative agli argomenti svolti durante le lezioni e le esercitazioni. Sostiene l'orale, in un determinato appello, lo studente che ha superato, con votazione minima di 17/30, la prova scritta dello stesso appello. Le prove orali hanno inizio a partire dalla comunicazione dei risultati della prova scritta.

## B3370 MECCANICA RAZIONALE

Anno: 2                      Periodo: 2  
Impegno (ore):            lezioni: 6            esercitazioni: 4            (ore settimanali)  
Docente:                    **Riccardo RIGANTI**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Scopo del Corso è l'acquisizione dei metodi matematici atti allo studio dei sistemi dinamici. Nell'ambito della meccanica del corpo rigido, si espongono 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.

### REQUISITI

E' opportuna una buona conoscenza degli argomenti di Fisica I, Analisi I, Analisi II e in particolare: funzioni di più variabili, equazioni e sistemi differenziali.

### PROGRAMMA

Coordinate lagrangiane e gradi di libertà di sistemi olonomi. Vincoli di posizione e di mobilità. *Cinematica*: atti di moto rigido e asse del moto elicoidale. Centro delle velocità e proprietà dei moti rigidi piani. Moti relativi e composizione di moti rigidi. Angoli di Eulero. Polari e problemi di rotolamento. Polari in moto relativo. Profili coniugati e problemi di rotolamento con strisciamento. Forze e reazioni vincolari in assenza di attrito. I principi della *Dinamica*: teoremi della quantità di moto e del momento risultante delle quantità di moto. Ellissoide d'inerzia. Deduzione delle equazioni del moto e calcolo delle reazioni vincolari. Equazioni cardinali della *statica* e determinazione delle configurazioni di equilibrio di sistemi rigidi. Integrali primi e conservazione della quantità di moto e del momento angolare. Dinamica relativa ed equilibrio relativo. Moti rigidi particolari con un asse o un punto fisso. Rotori, giroscopi e moti di precessione regolare. *Meccanica analitica*: lavoro elementare effettivo e virtuale. Vincoli perfetti. Equazione simbolica della Dinamica e principio dei lavori virtuali. Energia cinetica di sistemi olonomi. Teorema e integrale primo dell'energia. Studio qualitativo del moto di sistemi conservativi con un grado di libertà. Equazioni di Lagrange per sistemi olonomi con n gradi di libertà. Momenti cinetici, energia generalizzata ed equazioni di Hamilton. Spazio delle fasi. Oscillatore lineare; pendolo non lineare. *Stabilità* delle configurazioni di equilibrio. Funzione di Liapunov. Linearizzazione delle equazioni del moto. Perturbazioni e criterio di stabilità asintotica. Vibrazioni libere di sistemi conservativi con un grado di libertà. Frequenze proprie di vibrazione di sistemi conservativi con più gradi di libertà. Introduzione alla *analisi qualitativa del moto* per sistemi lineari e non lineari: biforcazioni di soluzioni di equilibrio stazionarie. Cicli limite. Biforcazione di Hopf. Mappe di Poincarè e attrattori periodici, quasi-periodici, caotici.

### LABORATORI E/OESERCITAZIONI

A partire dalla seconda settimana del periodo didattico sono proposti agli studenti esercizi e problemi applicativi sui principali argomenti del corso. A partire dal mese di Maggio gli studenti, suddivisi in piccoli gruppi di lavoro, svolgeranno con l'assistenza dei docenti un ciclo di esercitazioni di approfondimento su Personal Computers del L.A.I.B. In tali esercitazioni gli studenti hanno la possibilità di sostenere *tests* automatici di verifica dell'apprendimento e, facoltativamente, di sviluppare lo studio di un problema meccanico che verrà loro proposto, utilizzando programmi applicativi scritti in linguaggio BASIC e forniti dal docente. I risultati del lavoro svolto possono essere riassunti in una relazione scritta, la cui discussione farà parte degli argomenti trattati in sede di esame.



## **B3830    MOTORI PER AEROMOBILI**

Anno: 5	Periodo: 1	
Impegno (ore):	lezioni: 6	esercitazioni e laboratori: 2 (ore settimanali)
Docente:	<b>Giuseppe BUSSI</b> (collab.: Dario Pastrone, Lorenzo Casalino)	

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

### **REQUISITI**

Sono presupposte conoscenze di base nel campo delle macchine a fluido e della meccanica dei fluidi, fornite nei corsi di Macchine, Aerodinamica e Gasdinamica.

### **PROGRAMMA**

- La spinta e il suo costo. Spinta standard, spinta interna, resistenza addizionale e suo recupero sulla carenatura. Rendimenti propulsivo e termopropulsivo. Impulsi e consumi specifici. [circa 8 ore]
- Studio dei cicli a gas per turbomacchine. Influenza delle principali variabili termodinamiche sul lavoro utile e sul rendimento; diverse pratiche termodinamiche di interesse nella propulsione aeronautica. [circa 12 ore]
- Problemi di termo-fluidodinamica di interesse propulsivo. Calcolo della temperatura di combustione adiabatica. Riflessi fluidodinamici del riscaldamento di correnti di gas, con particolare attenzione al caso subsonico. [circa 6 ore]
- Studio delle prestazioni dei turbomotori e dei propulsori, in sede di progetto. Confronto turboreattore semplice-turboreattore a by-pass, con flussi miscelati o a doppio flusso. Ottimizzazione della espansione nel caso della Turboelica e del Doppioflusso. [circa 10 ore]
- Preparazione allo studio del comportamento fuori progetto delle turbomacchine: mappe manometriche dei componenti; grandezze adimensionate o corrette; relazioni di congruenza e individuazione dei parametri di regolazione interna. [circa 8 ore]
- Comportamento in regolazione dei turbomotori e dei turboreattori. Influenza della organizzazione meccanica (disposizione monoalbero o bi(pluri)albero). Studio delle prestazioni dei turbomotori e dei turbopropulsori, in sede di esercizio (in regolazione). Metodi per l'aumento temporaneo delle prestazioni. Postcombustione. [circa 12 ore]
- Descrizione e analisi del comportamento delle prese d'aria (con particolare riguardo alle applicazioni in supersonico), dei combustori (per turbomacchine, postcombustori, per autoretattori), degli ugelli propulsivi. [circa 12 ore]
- Problemi di accoppiamento presa d'aria-propulsore: caso del turboreattore e dell'autoretattore. Prestazioni dell'autoretattore in regolazione. [circa 4 ore]
- Cenni al sistema combustibile e al controllo del combustibile. Miscellanea: invertitori di spinta, silenziatori, avviatori e avviamento, prove al banco. [circa 6 ore]

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Programma delle esercitazioni in aula

- Calcolo, in sede di progetto, delle prestazioni di turbine a gas, turboreattori e autoretattori.
- Applicazioni numeriche sul comportamento in regolazione di alcune macchine e di alcuni componenti.

Viene, di massima, affrontato un tema diverso in ogni seduta. Gli allievi sono ripartiti, di massima, su due squadre.

Dimostrazione al banco:

- del comportamento dello stabilizzatore di fiamma, su modello di autoreattore.
- del comportamento regolato di una Turbina a gas monoalbero
- del comportamento regolato di Turboreattore semplice

Gli allievi vengono raggruppati in squadre di circa 10 unità

## BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento

Sono messi a disposizione appunti e materiale di documentazione a cura del docente, a copertura e corredo delle parti principali del corso.

Testi ausiliari

1. Rolls-Royce, *The Jet Engine*, Rolls-Royce plc, Derby
2. Hill-Peterson, *Mechanics and Thermodynamics of Propulsion*, Addison-Wesley

## ESAME

Prova orale sui contenuti teorici del corso e discussione delle esercitazioni svolte.

**PROGRAMMA**

- La spinta e il suo costo. Spinta standard, spinta interna, resistenza addizionale e suo rapporto sulla caratura. Rendimenti propulsivo e termopropulsivo. Impulsi e consumi specifici. [circa 8 ore]

- Studio dei cicli a gas per turbomacchine. Influenza delle principali variabili termodinamiche sul lavoro utile e sul rendimento; diverse pratiche termodinamiche di interesse nella propulsione aeronautica. [circa 12 ore]

- Problemi di termo-fluidodinamica di interesse propulsivo. Calcolo della temperatura di combustione adiabatica. Riflessi fluidodinamici del riscaldamento di correnti di gas, con particolare attenzione al caso subsonico. [circa 6 ore]

- Studio delle prestazioni dei turbomotori e dei propulsori in sede di progetto. Contorno turboreattore semplice-turboreattore a by-pass, con flussi miscelati o a doppio flusso. Ottimizzazione della espansione nel caso della turbobomba e del Doppioflusso. [circa 10 ore]

- Preparazione allo studio del comportamento fuori progetto delle turbomacchine: mappe transonometriche dei componenti; grandezze ammissionarie e comette; relazioni di congruenza e individuazione dei parametri di regolazione interna. [circa 8 ore]

- Comportamento in regolazione dei turbomotori e dei turboreattori. Influenza della organizzazione meccanica (distribuzione monoalbero o bilanciale) e del tipo di prestazioni dei turbomotori e dei turbopropulsori, in sede di esercizio (in regolazione). Metodi per l'aumento termoprestazioni. Postcombustione. [circa 12 ore]

- Descrizione e analisi del comportamento delle prese d'aria (con particolare riguardo alle applicazioni in superonico), dei combustori (per turbomacchine postcombustori, per autoretto) degli ugelli propulsivi. [circa 12 ore]

- Problemi di accoppiamento prese d'aria-propulsore: caso del turboreattore e dell'autoretto. Prestazioni dell'autoretto in regolazione. [circa 4 ore]

- Cenni al sistema compatto e al controllo del combustibile. Miscelazione: inverteitori di spinta, selezionatori, avviatori e avviamento, prove al banco. [circa 6 ore]

**LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Programma delle esercitazioni in aula

- Calcoli, in sede di progetto, delle prestazioni di turbine a gas, turboreattori e autoretto.

- Applicazioni numeriche sul comportamento in regolazione di alcune macchine e di alcuni componenti.

## B4280 PROGETTO DI AEROMOBILI

Anno: 5                      Periodo: 1  
Impegno (ore):            lezioni: 6            esercitazioni: 2            (ore settimanali)  
Docente:                    **Ettore ANTONA**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di presentare in una visione unitaria le problematiche della progettazione degli aeromobili, per quanto riguarda in particolare gli aspetti aerodinamici, strutturali, aeroplastici 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.

Il corso, per sua natura, introduce a una visione organica di una attività che, nell'industria, nei laboratori e negli enti di ricerca e di controllo, occupa migliaia di specialisti. I concetti che sono alla base di tutte queste attività fanno parte della "forma mentis" che è scopo della materia.

V'è, tra le fasi del progetto, l'avamprogetto, che nella pratica è condotto da un numero ristretto di persone: esso si basa su nozioni e informazioni molto specializzate e viene assunto come "esercitazione annuale". Nel corpo delle esercitazioni sono poi inserite applicazioni di "calcolo strutturale".

### REQUISITI

Nozioni propedeutiche: Analisi matematica, Meccanica razionale ed applicata, Scienza delle costruzioni, Costruzioni aeronautiche, Aerodinamica, Gasdinamica, Meccanica del volo, Tecnologie delle costruzioni aeronautiche.

### PROGRAMMA

Parte I. *Fondamenti del progetto.*

- Il problema del progetto. [8 ore]

Natura probabilistica degli aspetti centrali del progetto. Sicurezza, affidabilità e altri concetti collegati. Evoluzione del pensiero sugli aspetti sistemistici del progetto. Sicurezza, durata e affidabilità delle strutture aerospaziali. Strategie per la sicurezza. Progetto e sua pianificazione. Dati sui componenti. Valutazione complessiva delle probabilità. Logiche decisionali per la sicurezza e altri requisiti. Metodologie automatiche per i sistemi.

Progetto fondato sulla analisi del rischio (cenni).

Il progetto come processo decisionale ordinato. Decisione e rischio. Modelli funzionali e probabilità associate. L'albero delle decisioni.

- Simulazione e similitudine fisica nel progetto aerospaziale. [4 ore]

Analogie e simulazione. Similitudine fisica. Similitudine strutturale. Similitudine dinamica.

- Condizionamenti ambientali. [6 ore]

Considerazioni generali sui materiali. Comportamento a fatica.

Materiali per alte temperature. Effetti della corrosione e del *fretting*.

- Nozioni di calcolo delle probabilità e teoria statistica. [4 ore]

Introduzione. Definizioni di probabilità. Assiomatizzazione della teoria. Cambiamenti di variabile aleatoria. Principali distribuzioni di probabilità.

- Fondamenti della risposta dinamica dei sistemi. [4 ore]

Serie di Fourier e sua generalizzazione. Elementi di teoria delle funzioni analitiche. Trasformata di Laplace. Variabili *random* nel dominio delle frequenze. Autocorrelazione. Risposta dinamica. Teoria dell'informazione e meccanica statistica.

- Stabilità dei sistemi. [6 ore]  
Stabilità secondo Liapunov. Critica delle analisi di stabilità e dei concetti collegati. Analisi della stabilità dei sistemi lineari.

- Problemi di stabilità delle strutture. [4 ore]  
Considerazioni generali. Effetti delle nonlinearità geometriche. Effetti delle imperfezioni di forma. Instabilità a scatto. Effetto delle non linearità nel materiale.

*Parte II. Oggetto, problemi e metodi del progetto.*

- Il problema del progetto in aeronautica. [8 ore]  
Progetto come ottimizzazione. Indici di bontà. Indici di carico. Fattori di ingrandimento. Fasi del progetto. Strumenti e metodi. Le prove nelle varie fasi del progetto. L'ambiente.

- Gli aeromobili. [6 ore]  
Collocazione fra gli altri veicoli. Principi di funzionamento e di azionamento. Classificazione. Teoria impulsiva. Elementi descrittivi.

- Sicurezza, affidabilità, manutenibilità degli aeromobili. [4 ore]  
Introduzione. Sicurezza in caso di formazione di ghiaccio. Sicurezza nel *wind-shear*.

Progetto aerodinamico (cenni di chiarimento alle esercitazioni).  
Campi e modelli matematici. Sostentazione aerodinamica e profili alari. Caratteristiche aerodinamiche dei profili alari. Aerodinamica delle superfici portanti. Effetti della comprimibilità. Strato limite. Aerodinamica interna. Moderne tendenze del progetto aerodinamico.

- Prestazioni, controllabilità, manovrabilità e stabilità. [4 ore]  
Definizioni e discussione dei requisiti. Sistemi di riferimento.

Lunghezze, superfici e volumi di riferimento. Prestazioni. Caratteristiche di volo.  
- Progetto strutturale. [4 ore]

Evoluzione della morfologia delle strutture. Tipologia dei componenti strutturali. Funzioni della struttura. Funzioni dei componenti strutturali. Sintesi del progetto strutturale. Corretta introduzione delle forze. Fenomeni di concentrazione delle sollecitazioni e delle tensioni. Effetti delle interazioni sforzi - forma geometrica.

- Determinazione dei carichi. [4 ore]

Carichi di raffica: carichi di raffica continua, criterio di analisi della missione, criterio dell'inviluppo, confronto fra i due metodi. Altri tipi di carico introdotti nello spettro: carichi dovuti a cicli GAG, carichi da *wind-shear* e da scia, carichi da manovra, altri carichi. Spettri di carico e storia delle tensioni: problemi di campionamento, spettri di carico, spettri a blocchi, spettri *standard*.

- Analisi delle sollecitazioni. [6 ore]  
Teorie elementari. Stati correttivi. Metodi di analisi delle strutture.

- Determinazione degli ammissibili. [4 ore]  
Considerazioni generali. Accrescimento delle cricche. Sollecitazioni ammissibili senza cricche. Sollecitazioni ammissibili per resistenza residua. Sollecitazioni ammissibili per instabilità strutturale.

- Problemi aeroelastici. [4 ore]

Considerazioni generali. Divergenza. Inversione dei comandi. *Flutter*. Prove in similitudine in aeroelasticità. Sicurezza nei problemi aeroelastici.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

- Esercitazioni di avamprogetto. [23 ore]  
Articolazione e fasi del progetto aeronautico.

Previsione del peso massimo al decollo e del peso a vuoto.

Sensibilità del peso massimo al decollo ai parametri di progetto.

Progetto preliminare della configurazione. Integrazione del sistema propulsivo.

Valutazione del CL ottimo per il rullaggio. Distanza bilanciata di decollo. Requisiti di distanza di decollo e di atterraggio nelle norme FAR23, FAR25 e nelle norme militari. Metodo di valutazione approssimata della polare parabolica. Requisito di velocità massima o di crociera.

Requisiti di salita nelle norme FAR23 e FAR25.

Requisiti di salita per i velivoli militari. Virata. Esame di alcune configurazioni di velivoli di diverse categorie. Il pro getto della cabina di pilotaggio e della fusoliera.

Requisiti di carico. Il progetto dell'ala e delle superfici di ipersostentazione.

Problemi connessi al progetto dei comandi di volo primari e secondari. Il progetto del carrello.

Valutazione della posizione del baricentro e centraggio.

- Esercitazioni di calcolo strutturale. [15 ore]

Esempi d'uso del "principio dei lavori virtuali".

Svergolamenti.

Stati di sollecitazione e di deformazione di strutture alari nelle ipotesi del semiguscio.

Calcolo di ordinate di fusoliera.

Pannellature in presenza di "aperture".

Problemi di stabilità.

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Dispense indicate e appunti forniti dal docente.

Testi per approfondimenti:

B. Etkin, *Dynamics of flight*, Wiley, London.

Abbott, von Dohennoff, *Theory of wing sections*, Dover, New York, 1959.

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

J. Roskam, *Airplane design. Vol. I-VIII*, Univ. Kansas, Lawrence.

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

F.M. Hoblit, *Gust loads on aircraft: concepts and applications*, AIAA, Washington, 1988.

R. Rivello, *Theory and analysis of flight structures*, McGraw-Hill, New York, 1969.

## **B4600 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

Anno: 3                      periodo: 1  
Impegno:                      lezione: 5                      esercitazione: 5 (ore settimanali)  
Docente:                      **Silvio VALENTE** (esercitatori: Fabrizio Barpi, Pietro Cornetti)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del corso e' quello di introdurre la meccanica dei solidi elastici lineari con le equazioni di equilibrio, di congruenza e costitutive. Tali relazioni vengono dedotte nel caso dei solidi tridimensionali (corpi tozzi) e unidimensionali (travi) e quindi unificate in una formulazione del tutto generale, utile soprattutto per le applicazioni numeriche. Viene trattata poi la teoria dei sistemi di travi (solidi di Saint Venant), sotto il duplice aspetto statico e cinematico. Vengono infine descritti i fenomeni di crisi più frequenti nell'ingegneria strutturale: l'instabilità dell'equilibrio elastico, il collasso plastico, la frattura fragile.

### **REQUISITI**

E' opportuna una buona conoscenza degli argomenti di analisi i e ii, geometria, fisica i, meccanica razionale.

### **PROGRAMMA**

Introduzione al corso: classificazione degli elementi strutturali, modello geometrico della struttura, modello delle sollecitazioni, modello del comportamento del materiale, modelli numerici. (2 ore)

Analisi della deformazione: tensore delle deformazioni; dilatazioni e scorrimenti; proiezioni del vettore spostamento; legge di trasformazione del tensore delle deformazioni per rotazioni del sistema di riferimento; direzioni principali di deformazione; dilatazione volumetrica. (4 ore)

Analisi della tensione: vettore tensione; tensore degli sforzi; proiezioni del vettore tensione; legge di trasformazione del tensore degli sforzi per rotazioni del sistema di riferimento; direzioni principali di tensione; tensori idrostatico e deviatorico; cerchi di mohr; stato tensionale piano. (5 ore)

Equazioni indefinite di equilibrio; equazioni di equivalenza al contorno; formulazione matriciale e dualità statico-cinematica; principio dei lavori virtuali per il corpo deformabile. (2 ore)

Potenziale elastico; potenziale elastico complementare; legge costitutiva elastica: elasticità lineare; isotropia; modulo di young e coefficiente di poisson; problema elastico; equazioni di lame' in forma operatoriale; teorema di clapeyron; teorema di betti. (4 ore)

Criteri di sicurezza: diagrammi tensione-deformazione per materiali duttili e fragili; energia di frattura; criterio di tresca; criterio di mohr-coulomb, criterio di von mises. (4 ore)

Solido di Saint Venant: ipotesi fondamentali; sforzo normale; flessione retta; sforzo normale eccentrico; flessione deviata; nocciolo centrale di inerzia; ortogonalità energetica; torsione (sezioni circolari e generiche, sezioni sottili aperte e chiuse); taglio (centro di taglio, trattazione semplificata di Jourawsky, sezione rettangolare, scorrimento medio, sezioni sottili). (13 ore)

Teoria tecnica della trave: rapporto tra deformazione flettente e tagliante; equazioni cinematiche, statiche e costitutive per la trave (rettilinea e curva); equazione della lineaelastica: spostamenti e rotazioni negli schemi elementari; composizione di rotazioni e spostamenti. (4 ore)

Il principio dei lavori virtuali applicato ai sistemi di travi: determinazione degli spostamenti nelle strutture isostatiche e risoluzione delle strutture iperstatiche. Il teorema di Castigliano, il teorema di Menabrea. (5 ore)

Calcolo automatico, con il metodo degli spostamenti, di travature reticolari, telai piani e spaziali, grigliati. (5 ore)

Fenomeni di collasso strutturale; instabilità dell'equilibrio elastico(trave rettilinea con varie condizioni di vincolo, portali, limiti di validità della formula di Eulero); collasso plastico (fles-

sione elasto-plastica, cerniera plastica, analisi evolutiva di strutture iperstatiche); meccanica della frattura (analisi energetica di Griffith). (8 ore)

Metodo degli elementi finiti dedotto dal Principio dei Lavori Virtuali; matrice di rigidezza locale e globale; condizioni al contorno. (4 ore)

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

1. Geometria delle aree: leggi di trasformazione del vettore dei momenti statici e del tensore dei momenti di inerzia per roto- traslazioni del sistema di riferimento; direzioni e momenti principali d'inerzia; cerchi di Mohr; simmetria assiale e polare. (6 ore)
2. Cinematica dei sistemi di travi: gradi di libertà, vincolo di rigidità, linearizzazione del vincolo, vincoli piani, mal disposizione dei vincoli, atto di moto di un corpo rigido. Statica dei sistemi di travi: studio algebrico e studio grafico, teoremi delle catene cinematiche. (10 ore)
3. Dualità statico-cinematica, staticografica, curva delle pressioni, caratteristiche interne della sollecitazione, equazioni indefinite di equilibrio per le travi curvilinee piane. (6 ore)
4. Sistemi di travi isostatici: determinazione delle reazioni vincolari con le equazioni ausiliarie e con il Principio dei Lavori Virtuali; archi a tre cerniere; travi Gerber; strutture chiuse; travature reticolari. (8 ore)
5. Esercizi sul solido di Saint Venant, compreso il tracciamento della regione di nocciolo. (10 ore)
6. Il principio dei lavori virtuali applicato ai sistemi di travi: distorsioni termiche e cedimenti vincolari, strutture reticolari iperstatiche, archi e anelli. (4 ore)
7. Sistemi di travi iperstatici: simmetria ed anti-simmetria assiale e polare. (4 ore)
8. La risoluzione di strutture iperstatiche con il metodo dei telai piani: il caso a nodi fissi, il caso a nodi spostabili, l'iperstaticità assiale. (10 ore)
9. Esercizi sull'instabilità dell'equilibrio elastico. (2 ore)

## **BIBLIOGRAFIA**

CARPINTERI, *Scienza delle Costruzioni*, Vol. I e II, Ed. Pitagora, Bologna, 1995

TESTI AUSILIARI:

O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna

M. CAPURSO, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Ed. Pitagora, Bologna, 1971

P. CICALA, *Scienza delle Costruzioni*, Vol.1 e 2, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1981

DI TOMMASO, *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Ed. Patron, Bologna, 1981

F. LEVI, P. MARRO, *Scienza delle Costruzioni*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1986

Per le esercitazioni saranno utili i seguenti volumi:

CARPINTERI, *La Geometria delle masse*, Ed. Pitagora, Bologna, 1983

E. VIOLA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, Vol.1 e 2, Ed. Pitagora, Bologna, 1985

## **ESAME**

La prova scritta è suddivisa in tre esercizi: la risoluzione di una struttura isostatica, di una struttura iperstatica e di una sezione di un solido di Saint Venant. Per ciascun esercizio sono previsti due gruppi di domande. Per raggiungere la sufficienza ed essere ammessi alla prova orale è necessario rispondere correttamente almeno al primo gruppo di domande per ogni esercizio. Si suggerisce di attrezzarsi convenientemente per lo svolgimento della prova scritta (carta quadrettata, squadra, ecc.). Si segnala invece che non è permesso l'uso di testi ed appunti, ma solo l'uso dei formulari che verranno presentati ad esercitazione. Per la prova scritta vengono concesse 3,5 ore, per le prime 2 ore non è possibile lasciare l'aula. E' possibile ripetere la prova scritta nell'ambito della stessa sessione, rispettando le limitazioni stabilite dal Consiglio di Facoltà. Di norma la prova orale si svolge nei giorni subito successivi alla prova scritta. Coloro che superano la prova scritta in un appello precedente all'ultimo della sessione, possono sostenere l'orale anche nell'appello immediatamente successivo a quello dello scritto.

## **B4620 SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI AERONAUTICI ED AEROSPAZIALI**

Anno: 2	Periodo: 2			
Impegno (ore):	lezioni: 80	esercitazioni: 10	laboratori: 20	(nell'intero periodo)
Docente:	<b>Laura MONTANARO</b>			

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone innanzi tutto di fornire una cultura tecnico-scientifica di base, con particolare enfasi alle correlazioni esistenti tra struttura, microstruttura e prestazione di un materiale, sottolineando quindi le potenzialità di progettazione con vecchi e nuovi materiali attraverso un controllo della loro proprietà microstrutturali.. Segue una trattazione sistematica dei materiali per costruzioni aeronautiche ed aerospaziali, suddivisi nelle 4 categorie, metalli, ceramici, materie plastiche, compositi, con una sintetica descrizione delle più comuni tecnologie di trasformazione.

### **PROGRAMMA**

Classificazione dei materiali; Criteri di scelta: tecnici, industriali, economici e socioeconomici. Il legame chimico; curve di Condon-Morse. Organizzazione dei solidi; solidi cristallini ed amorfi. Strutture cristalline. Imperfezioni nei solidi. La diffusione allo stato solido e la legge di Fick. Diagrammi di stato: sistemi a uno, due e tre componenti. Influenza del tempo sulle trasformazioni di fase: diagrammi TTT e CCT. Trasformazioni senza diffusione. Proprietà dei materiali. Proprietà meccaniche: sollecitazioni e deformazioni. Legge di Hooke; modulo di Young. Prove statiche e dinamiche sui materiali (trazione, compressione, flessione, prova d'urto, etc.). Concetto di resistenza specifica. Duttilità e fragilità: definizione della tenacità a frattura. Possibilità di modificare le proprietà dei materiali. Influenza del tempo e della temperatura: la fatica e lo scorrimento viscoso. Viscoelasticità e viscoplasticità. Proprietà termiche: dilatazione termica, resistenza agli shock termici.

Materiali metallici. Leghe Fe-C. Influenza della composizione e dei trattamenti termici sulle proprietà. Tecnologie di formatura. Classificazione ed applicazioni degli acciai. Acciai inossidabili. Leghe non ferrose. Le leghe leggere; leghe di alluminio, magnesio, titanio. Le superleghe. Tecniche di elaborazione e formatura: solidificazione rapida; metallurgia delle polveri; deformazione superplastica; "diffusion bonding"; solidificazione direzionale e monocristallina; alligazione meccanica; materiali rinforzati per dispersione di ossidi; cenno ai compositi a matrice metallica ed alle leghe intermetalliche. Sviluppo del disegno, della composizione e delle tecniche di formatura di pale per turbina.

I materiali ceramici: classificazione. Le polveri ceramiche. Le tecniche di formatura. La sinterizzazione. Vetri: tecnologie di fabbricazione e proprietà. Vetrocereamici. I refrattari di alta tecnologia. Descrittiva di alcuni ceramici ingegneristici (allumina, zirconia, nitruro e carburo di silicio). I rivestimenti ceramici (Thermal Barrier Coatings).

I materiali polimerici. Cenni alle tecniche di polimerizzazione. Termoplastici, termoindurenti, elastomeri. Temperatura di transizione vetrosa. Comportamento meccanico. Comportamento elastomerico e vulcanizzazione. Tecniche di formatura. Degrado dei materiali polimerici.

Materiali compositi: classificazione; tipi di rinforzi e di matrici. Fibre di vetro, aramidiche, di boro, di carbonio: Metodi di produzione e proprietà. Matrici, essenzialmente polimeriche (poliestere, poliammide, epossidica, polimmidica, etc.). Metodi di elaborazione dei compositi; compositi strutturali, laminati ed a sandwich.

Cenni ai combustibili ed alle interazioni con i materiali di contenimento.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni sono parzialmente di calcolo in aula, ma principalmente applicative presso il laboratorio informatico, grazie all'ausilio di programmi interattivi che permettono la simulazione di molti degli aspetti teorici ed applicativi oggetto del corso, nonché autoverifiche di apprendimento periodiche. Sono prevedibili anche esercitazioni guidate di laboratorio sulla caratterizzazione meccanica dei materiali, da svolgersi presso il lab. Materiali del Dip. Scienza dei Materiali ed Ingegneria Chimica.

## BIBLIOGRAFIA

M.F. Ashby, D.R.H. Jones "Engineering Materials; an introduction to microstructures, processing and design" vol. 1 e 2; Pergamon Press (1986)

W.D. Callister "Materials Science & engineering; an introduction", Wiley, New York (1991)

AIMAT, Manuale di ingegneria dei Materiali, Mc Graw Hill (1996)

## ESAME

Esonero scritto in corso d'anno ed esame orale a fine anno.

### - La fatica;

- Osservazioni sperimentali, impostazioni critiche per la progettazione;

- L'entità inerte;

- Ossidazione e corrosione;

- Aderenza e usura;

- Degradazione di materiali e tecnologie di fabbricazione degli elementi costitutivi degli

- Lubrificanti e lubrificazione;

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

- Disegno di alcune parti e simulazioni di strutture;

- Cicli di lavorazione e sui piani di sviluppo per la realizzazione di un veicolo civile;

- L'impiego di materiali e procedimenti tecnologici di fabbricazione di componenti strutturali;

- I principali elementi strutturali, sistemi di strutture e di collegamento, in aeronautica, in

- Tecnologie di fabbricazione dei principali elementi strutturali;

- Caratteristiche di materiali e tecnologie di fabbricazione di componenti strutturali;

- La propulsione (la realizzazione di sistemi costruttivi, le diverse alternative, problemi di

- Esercizi e tecnologie di costruzione di elementi strutturali e di collegamento di tipo

- Appunti forniti agli studenti che variano a seconda di una seconda

- Aeronautica su materiali e processi;

- Elementi di statica;

- Qualità, Controllo della Qualità, Garanzia della Qualità, Sistemi Qualità;

- La Garanzia della Qualità nell'industria aeronautica come NATO in un sistema

- Prove e metodi per il controllo e la valutazione del processo produttivo e della qualità del pro-

- dotto;

- Le prove per la caratterizzazione dei materiali (trazione e compressione, durezza, resilienza,

- scorrimento viscoso, fatica, frattura, attrito e usura, prove non normalizzate per metalli);

- I difetti nei materiali, negli elementi metallici e nei compositi (difetti di fabbricazione e dan-

- negamenti in servizio);

- Le prove non distruttive (metodi e valutazione comparativa);

- I materiali (2 h)

- I materiali metallici (acciai, leghe di alluminio, leghe di magnesio, titanio); normalizzazione;

- caratteristiche e applicazioni in aeronautica;

- Le materie plastiche (termoplastiche, termindurenti, elastomeri); normalizzazione, caratteristi-

- che e applicazioni in aeronautica;

- I compositi a matrice polimerica;

- Adesivi e vernici.

## **B5660      TECNOLOGIE DELLE COSTRUZIONI AERONAUTICHE**

Anno: 4                      Periodo: 2  
Impegno (ore):            lezione: 6            esercitazione: 2            (ore settimanali)  
Docente:                    **Margherita CLERICO**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso tratta principalmente i problemi realizzativi delle strutture e degli organi meccanici degli aeromobili nell'ottica dell'attività di fabbricazione, di officina, di controllo e di manutenzione. 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, e si svolge con lezioni, esercitazioni, visite in AERITALIA, ALITALIA, FIAT, etc.

### **REQUISITI**

Corsi del biennio, chimica applicata, scienza delle costruzioni, costruzioni aeronautiche.

### **PROGRAMMA**

Programma sulla tipologia e sulle tecnologie di fabbricazione degli elementi costruttivi degli aeromobili (15 h)

- Implicazioni di materiali e procedimenti tecnologici sui criteri di progetto strutturale;
- Possibile organigramma di aziende costruttrici di aeroplani;
- Cenni sull'impostazione della configurazione e sul piano di sviluppo per la realizzazione di un velivolo civile;
- L'aeroplano (i principali elementi strutturali, esempi di strutture e di collegamenti, metodologie costruttive dell'aeromobile, tecnologie di fabbricazione dei principali elementi strutturali);
- Cenni sull'elicottero;
- La propulsione (la realizzazione di elementi costruttivi dei motori alternativi, problemi di esercizio e tecnologie di costruzione di elementi dei motori a turbina, cenni sulle coppie di attrito: cuscinetti e ingranaggi, le pale d'elica, le sospensioni elastiche).

Il sistema qualità e le sue prove (15 h)

- La normalizzazione;
- Elementi di statistica;
- Qualità, Controllo della Qualità, Garanzia della Qualità, Sistema Qualità;
- La Garanzia della Qualità nell'industria aerospaziale: le norme NATO;
- Prove e metodi per il controllo e la valutazione del processo produttivo e della qualità del prodotto;
- Le prove per la caratterizzazione dei materiali (trazione e compressione, durezza, resilienza, scorrimento viscoso, fatica, frattura, attrito e usura, prove non normalizzate per metalli);
- I difetti nei materiali, negli elementi metallici e nei compositi (difetti di fabbricazione e danneggiamenti in servizio);
- Le prove non distruttive (metodi e valutazione comparativa).

I materiali (15 h)

- I materiali metallici (acciai, leghe di alluminio, leghe di magnesio, titanio): normalizzazione, caratteristiche e applicazioni in aeronautica;
- Le materie plastiche (termoplastici, termoindurenti, elastomeri): normalizzazione, caratteristiche e applicazioni in aeronautica;
- I compositi a matrice polimerica;
- Adesivi e vernici.

I procedimenti tecnologici (15 h)

- I processi per colata;
- I processi per deformazione a caldo;
- I processi per deformazione a freddo;
- La sinterizzazione (materiali ceramici, materie plastiche);
- La tecnologia delle fibre;
- La tecnologia dei compositi;
- La tecnologia delle gomme;
- Le lavorazioni speciali (elettroerosione);
- I trattamenti superficiali;
- La pulitura della superficie;
- Le lavorazioni ad asportazione di truciolo;
- I processi di ricopertura.

*I materiali e le loro proprietà (20 h)*

- le proprietà dei materiali;
- La struttura dei materiali e le loro proprietà;
- Equazioni fondamentali della meccanica del continuo;
- La fatica;
- Osservazioni sperimentali, meccanismi e criteri per la frattura duttile;
- L'attrito interno;
- Ossidazione e corrosione;
- Attrito e usura;
- Degradazione dei polimeri.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Disegno di alcune parti e attrezzature di produzione (5 h)

Cicli di lavorazione (5 h)

Verifica di diversi organi e scelta del materiale più adatto (10 h)

### **BIBLIOGRAFIA**

CLERICO, M., *Le tecnologie aeronautiche*, Levrotto & Bella, 1987

CLERICO, M., *Il Sistema Qualità e le sue prove*, Levrotto & Bella (in corso di pubblicazione)

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

Appunti forniti agli studenti che variano a seconda delle nuove tendenze dell'Industria Aerospaziale su materiali e processi.

### **ESAME**

L'esame consiste in una prova scritta che dà l'ammissione alla prova orale.

Anno: 5

Periodo: 1

Impegno (ore):

lezioni: 75

esercitazioni: 26

(nell'intero periodo)

Docente:

Mauro PANDOLFI

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso presenta una struttura monografica ed intende introdurre lo studente nel settore della fluidodinamica numerica rivolta ai moti di flusso compressibile stazionario supersonico. L'attenzione è rivolta sia alla interpretazione dei fenomeni aerodinamici che ad aspetti fondamentali di calcolo numerico, fornite le basi per la comprensione di molti problemi che si incontrano negli studi e progetti aerodinamici.

**REQUISITI**

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

**PROGRAMMA**

- Introduzione alle equazioni differenziali alle derivate parziali di tipo iperbolico.
- Il problema scalare: equazione lineare ed equazione non-lineare; segnali, caratteristiche, equazione di compatibilità; onda, dominio di dipendenza e condizione al contorno; il metodo delle caratteristiche.
- La legge di conservazione nel problema scalare; discontinuità, relazione di salto e condizione di entropia.
- Approssimazioni discrete alle differenze ed ai volumi finiti; schemi di accuratezza del primo e secondo ordine; discretizzazione upwind.
- Il sistema delle equazioni di Eulero; flusso 1D non-stazionario e flusso 2D supersonico stazionario.
- Il sistema delle equazioni differenziali non lineari; diagonalizzazione del sistema, segnali, caratteristiche, equazioni di compatibilità; campi ad onda semplice, interazione fra onde, condizioni al contorno; il metodo delle caratteristiche.
- Le leggi di conservazione; onde d'urto e superficie di contatto, relazioni di salto e condizione di entropia.
- Interazioni fra discontinuità.
- Formulazioni *upwind* per sistemi di leggi di conservazione e schemi di integrazione.
- Analisi di tre codici numerici; previsione del campo di moto supersonico stazionario su cono circolare senza incidenza; soluzioni numeriche del problema scalare per diversi casi (equazioni differenziali, leggi di conservazione, dati iniziali, condizione ai contorni) e procedure numeriche; moti quasi-1D non-stazionari descritti dalle equazioni di Eulero, esempi di transitori, tecniche *time-dependent*, interazioni fra discontinuità, influenze del metodo numerico sulla qualità dei risultati; costruzione di soluzioni analitiche e confronto critico con i risultati numerici dei codici.

**LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni verteranno su:

- Valutazioni analitiche di problemi per il successivo confronto con risultati numerici. Illustrazione e commento dei codici numerici.
- L'attività di laboratorio riguarderà esperienze di calcolo numerico con i codici suddetti su PC del Laboratorio Informatico del Dipartimento.

## **B0052 AERODINAMICA 2**

Anno: 5                      Periodo: 1  
Impegno (ore):            lezioni: 78            esercitazioni: 26            (nell'intero periodo)  
Docente:                    **Maurizio PANDOLFI**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso presenta una struttura monografica ed intende introdurre lo studente nel settore della fluidodinamica numerica rivolto ai moti di flusso compressibile, nei regimi non stazionario e stazionario supersonico. L'attenzione è rivolta sia alla interpretazione fisica dei fenomeni fluidodinamici che ad aspetti fondamentali per lo sviluppo di metodi numerici. Nel corso vengono fornite le basi per la comprensione di moderne procedure numeriche di larga applicazione negli studi e progetti aerodinamici.

### **REQUISITI**

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

### **PROGRAMMA**

- Introduzione alle equazioni differenziali alle derivate parziali di tipo iperbolico.
- Il problema scalare: equazione lineare ed equazione non-lineare; segnale, caratteristica, equazione di compatibilità; onda, dominio di dipendenza e condizione al contorno; il metodo delle caratteristiche.
- La legge di conservazione nel problema scalare; discontinuità, relazione di salto e condizioni di entropia.
- Approssimazioni discrete alle differenze ed ai volumi finiti; schemi di accuratezza del primo e secondo ordine; discretizzazione *upwind*.
- Il sistema delle equazioni di Eulero; flusso 1D non-stazionario e flusso 2D supersonico stazionario.
- Il sistema delle equazioni differenziali non lineari; diagonalizzazione del sistema, segnali, caratteristiche, equazioni di compatibilità; campi ad onda semplice, interazione fra onde, condizioni al contorno; il metodo delle caratteristiche.
- Le leggi di conservazione; onde d'urto e superficie di contatto, relazioni di salto e condizione di entropia.
- Interazioni fra discontinuità.
- Formulazioni *upwind* per sistemi di leggi di conservazione e schemi di integrazione.
- Analisi di tre codici numerici; previsione del campo di moto supersonico stazionario su cono circolare senza incidenza; soluzioni numeriche del problema scalare per diversi casi (equazioni differenziali, leggi di conservazione, dati iniziali, condizione ai contorni) e procedure numeriche; moti quasi-1D non-stazionari descritti dalle equazioni di Eulero, esempi di transitori, tecniche *time-dependent*, interazioni fra discontinuità, influenza del metodo numerico sulla qualità dei risultati; costruzione di soluzioni analitiche e confronto critico con i risultati numerici del codici.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni verteranno su:

- Valutazioni analitiche di problemi per il successivo confronto con risultati numerici. Illustrazione e commento dei codici numerici.
- L'attività di laboratorio riguarderà esperienze di calcolo numerico con i codici suddetti su PC del Laboratorio Informatico del Dipartimento.

Anno: 5                      Periodo: 2  
Impegno (ore):            lezioni: 4            esercitazioni: 4            (ore settimanali)  
Docente:                    **Michele ONORATO** (collab.: Maurizio Boffadossi)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso tratta gli aspetti relativi al progetto aerodinamico dei velivoli collegati con la sperimentazione di modelli in galleria del vento, avvalendosi della possibilità di disporre delle attrezzature e della strumentazione presenti nel Laboratorio di aerodinamica "Modesto Panetti".

Lo scopo principale del corso è quello di informare gli studenti sulle metodologie sperimentali aggiornate che si adottano per predire le caratteristiche aerodinamiche di un aeroplano, mettendo in risalto i limiti della simulazione delle fenomenologie in laboratorio. L'esigenza moderna di integrare la sperimentazione con la simulazione numerica dei fenomeni viene ampiamente trattata nelle lezioni introduttive.

Il cinquanta per cento del corso è svolto attraverso lezioni in aula, la parte restante riguarda attività equamente suddivise tra prove sperimentali ed attività presso il Laboratorio di informatica del Dipartimento. Queste ultime consistono essenzialmente in elaborazioni dei risultati sperimentali e parzialmente nella simulazione numerica di fenomeni fluidodinamici attinenti con il progetto di componenti di gallerie del vento.

### **REQUISITI**

Per una attiva partecipazione al corso è auspicabile che l'allievo abbia già superato l'esame di Aerodinamica.

### **PROGRAMMA**

- Simulazione numerica dei fenomeni aerodinamici: limiti e prospettive. Discussione sulla possibilità di soluzione numerica delle equazioni del moto per flussi laminari, transizionali e turbolenti nel caso di numeri di Reynolds elevati. Teoria della stabilità e fisica della transizione. Esempi di integrazione *computer* - galleria del vento.
- Simulazione sperimentale dei fenomeni aerodinamici: limiti e prospettive. Principi di similitudine dinamica. Gallerie del vento subsoniche, camera di prova, divergente, gomiti, sistema ventilatore, convergente. Controllo della turbolenza. Gallerie del vento transoniche, caratteristiche specifiche. Procedure di sperimentazione di modelli di velivoli. La velocità di riferimento. Effetti dei supporti del modello e delle pareti del tunnel, del numero di Reynolds e della turbolenza della corrente libera. Studio dell'interferenza delle pareti per mezzo del metodo delle immagini. Metodi di correzione dei risultati sperimentali. Gallerie supersoniche. Aspetti specifici. Effetti della compressibilità e di gas reale. Ugelli supersonici e diffusori. Gallerie ipersoniche. Tubi d'urto. *Shock tunnels*, gallerie a plasma. La visualizzazione dei flussi in aerodinamica.
- Metodologie di misura. Misura della pressione e delle forze, trasduttori. Tubi di Pitot direzionali. Anemometria a filo caldo. Anemometria basata sull'analisi quantitativa di visualizzazioni. Misura della turbolenza. Teoria dell'errore.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Presso il Laboratorio di aerodinamica "Modesto Panetti" sono presenti tre gallerie del vento, la maggiore dedicata alla sperimentazione di modelli di velivoli, le altre progettate rispettivamente per lo studio dello strato limite e di correnti di mescolamento e di scia. Sono presenti inoltre due canali con flusso turbolento completamente sviluppato ed impianti vari di taratura. Tutte queste attrezzature sono utilizzate nell'ambito delle esercitazioni del corso. Il loro impiego e l'oggetto dell'esercitazione sono subordinati alle attività di ricerca in corso, nelle quali sono coinvolti tesisti e dottorandi.

Presso il laboratorio di informatica del dipartimento gli studenti hanno a disposizione *personal computers* e terminali presso i quali eseguono l'elaborazione di dati sperimentali e la relativa rappresentazione grafica.

## BIBLIOGRAFIA

W.H. Rae, A Pope, *Low-speed wind tunnel testing*, Wiley.

## ESAME

Solitamente orale, con particolare attenzione alla discussione delle esercitazioni.

## ESAME

Test di riferimento:  
K.J. Bishopp, H. Ashley, *Introduction to Aerodynamics*, Dover, 1962  
D.J. Evans, *Modeling and Simulation*, Wiley, 1975  
G. Chacón, *Principios de Aerodinámica*, Editorial de la Universidad de Sevilla, 1974  
J.H. Dowell, H.C. Curtiss, R.H. Scanlan, F. Sisto, *Aerodynamic Flutter*, Wiley, 1978  
Y.C. Fung, *An Introduction to the Theory of Aerelasticity*, Dover, 1962  
H.W. Bessinger, *Grundlagen der Aerodynamik*, Springer, New York, 1974

REQUISITI  
Principali di Aerodinamica, sperimentazione di volo, Aerodinamica, scienza delle costruzioni, Meccanica applicata.

PROGRAMMA  
Analisi modale durante il corso e, in un'evoluta, della metodologia di analisi modale.  
- Definizione e classificazione dei fenomeni aeroelastici.  
- Richiami di elastomeccanica: travi e gusci. Richiamo dei metodi di soluzione delle equazioni aeroelastiche: collocazione diretta, di Galerkin, di Rayleigh-Ritz, del metodo degli elementi finiti.  
- Problemi aeroelastici statici: divergenza torsionale, efficienza e inversione d'effetto delle superfici di comando. Divergenza flessionale dei missili.  
- L'analisi modale sperimentale e la strumentazione utilizzata. L'analisi delle funzioni di trasferimento ricavabili sperimentalmente (TRF). Estrazione dei parametri modali. Modelli SDOF (a un grado di libertà) e MDOF (a più gradi di libertà). I residui. Confronto tra i modelli modali ottenuti per via numerica e sperimentale.  
- Prove dinamiche a terra (GVT). Correlazione fra le prove di vibrazione a terra e in volo.  
- Problemi aeroelastici dinamici: flutter di stallo, whirl-flutter, buffeting, buff flutter, buzz transoni, co-panel flutter.  
- Introduzione all'aeroelasticità.  
- Teoria analitica per la conoscenza delle caratteristiche di un'ala flessibile equipaggiata con sistemi attivi di soppressione del flutter e allievazione della fatica.  
- Teorie del flutter di aeromobili servo-comandati.  
- Analisi aeroelastiche per sistemi analogici o digitali.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI  
Calcolo delle matrici di influenza per un'ala a freccia.  
Calcolo delle matrici aerodinamiche applicando la teoria di striscia, di Prandtl e di Weisinger.  
Calcolo della velocità di divergenza di un'ala a freccia.  
Calcolo della distribuzione di portanza per un'ala a freccia in un'ala a variabile velocità.  
Calcolo della velocità di inversione degli altoni per un'ala a freccia.  
Calcolo della velocità di flutter per un'ala a freccia.  
Schematizzazione agli elementi finiti di un pannello in materiale composito mediante elementi rettangolari a quattro nodi di Kirchhoff. Scrittura dell'equazione del moto per un pannello investito da un flusso supersonico. Calcolo della velocità critica di flutter.

## **BO090 AEROELASTICITÀ APPLICATA**

Anno: 2 (SIA)	Periodo: 2		
Impegno (ore):	lezioni: 4	esercitazioni: 4	(ore settimanali)
Docente:	da nominare		

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

L'obiettivo del corso è di fornire:

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

### **REQUISITI**

Principi di Aeroelasticità, Sperimentazione di Volo, Aerodinamica, Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata.

### **PROGRAMMA**

- Definizione e classificazione dei fenomeni aeroelastici.
- Richiami di elastomeccanica: travi e gusci. Richiamo dei metodi di soluzione delle equazioni aeroelastiche: collocazione diretta, di Galerkin, di Rayleigh-Ritz, del metodo degli elementi finiti.
- Problemi aeroelastici statici: divergenza torsionale, efficienza e inversione d'effetto delle superfici di comando. Divergenza flessionale dei missili.
- L'analisi modale sperimentale e la strumentazione utilizzata. L'analisi delle funzioni di trasferimento ricavabili sperimentalmente (FRF). Estrazione dei parametri modali. Modelli SDOF (ad un grado di libertà) e MDOF (a più gradi di libertà). I residui. Confronto tra i modelli modali ottenuti per via numerica e sperimentale.
- Prove dinamiche a terra (GVT). Correlazione fra le 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.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Calcolo delle matrici di influenza per un'ala a freccia;  
Calcolo delle matrici aerodinamiche applicando la teoria di striscia, di Prandtl e di Weissinger;  
Calcolo delle velocità di divergenza di un'ala a freccia;  
Calcolo della distribuzione di portanza per un'ala a freccia al variare della velocità;  
Calcolo della velocità di inversione degli alettoni per un'ala a freccia;  
Calcolo della velocità di flutter per un'ala con alettone;  
Schematizzazione agli elementi finiti di un pannello in materiale composito mediante elementi rettangolari a quattro nodi di Kirchhoff. Scrittura dell'equazione del moto per un pannello investito da un flusso supersonico. Calcolo della velocità critica di flutter.

Sviluppo di una tesina in cui si applicano le conoscenze acquisite a un problema di instabilità aeroelastica e/o al controllo della medesima.

Le esercitazioni sono svolte mediante incontri in aula e al LAIB con l'esercitatore e prevedono la scrittura di programmi per MATLAB. Le esercitazioni 3, 4, 5 e 6 si riferiscono a dati di velivoli esistenti (G91, DC9 e MB326).

Le esercitazioni in laboratorio vengono svolte mediante l'impiego di un sistema di acquisizione delle vibrazioni delle strutture disponibile presso il Dipartimento di Ingegneria aeronautica e spaziale. Vengono eseguite prove su barrette metalliche e pannelli, mostrando la correlazione con i dati corrispondenti ottenuti mediante lo sviluppo del corrispondente modello matematico.

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

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

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

G. Chiochia, *Principi di aeroelasticità*, Levrotto&Bella, Torino, 1990

Testi per approfondimenti:

E.H. Dowell, H.C. Curtiss, R.H. Scanlan, F. Sisto, *A modern course in aeroelasticity*, 1989.

Y.C. Fung, *An introduction to the theory of aeroelasticity*, Dover, 1974.

H.W. Foesching, *Grundlagen der Aeroelastik*, Springer, New York, 1974.

## ESAME

Spiegazione della/delle tesine sviluppate durante il corso, e prova orale.

## B0510 CALCOLO NUMERICO

Anno: 3                      Periodo: 2  
Impegno (ore):          lezioni: 6          esercitazioni: 2          laboratori: 2          (ore settimanali)  
Docente:                    **Claudio CANUTO**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

Il corso consta di due parti logicamente distinte, che possono essere svolte in maniera temporalmente integrata. Nella prima parte, 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 qualche semplice ma significativo modello matematico, all'analisi delle sue proprietà, alla scelta di una o più tecniche di discretizzazione numerica, alla loro analisi numerica e alla conseguente implementazione su calcolatore.

### REQUISITI

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

### PROGRAMMA

#### 1. Parte istituzionale

- Vari tipi di errore nel trattamento numerico di problemi matematici. [1 ora]
- Metodi diretti per la risoluzione di un sistema lineare: sostituzione in avanti e all'indietro; metodo di eliminazione di Gauss e fattorizzazione LU di una matrice; *pivoting*, *scaling* ed effetto del condizionamento della matrice, propagazione degli errori; metodo di Choleski, cenno ad altri metodi di fattorizzazione, fattorizzazione di matrici simmetriche, a banda, sparse; calcolo dell'inversa di una matrice. [8 ore]
- Metodi iterativi per la risoluzione di sistemi lineari: generalità sulla convergenza di metodi iterativi; metodi di Jacobi, Gauss-Seidel e rilassamento, esempi; metodo di Richardson, cenno ai metodi *multi-grid*; metodi di discesa: gradiente semplice, gradiente coniugato e generalizzazioni; cenno al problema del preconditionamento di una matrice. [9 ore]
- Altri metodi per la risoluzione di sistemi lineari: matrici di riflessione di Householder, fattorizzazione QR di una matrice; metodo dei minimi quadrati: formulazione, equazioni normali, decomposizione QR del sistema. [3 ore]
- Calcolo di autovalori e autovettori di matrici: metodi del tipo potenza e varianti; cenno ai metodi di Jacobi e Givens; forma di Hessemberg di una matrice; metodo QR; cenno al metodo di Lanczos; cenno alla decomposizione in valori singolari di una matrice e alla pseudo-inversa di Moore-Penrose [5 ore]
- Risoluzione di equazioni e sistemi nonlineari: teoremi di punto fisso e condizioni di convergenza, ordine di convergenza di un metodo iterativo; metodi delle corde, delle secanti, di Newton; metodi di accelerazione; metodi per il calcolo di zeri di polinomi; cenno al legame con i metodi di ottimizzazione. [5 ore]
- Approssimazione di funzioni: interpolazione di Lagrange e di Hermite mediante polinomi algebrici; stima dell'errore; fenomeno di Runge e problema della scelta dei nodi; polinomi ortogonali e loro zeri; approssimazione mediante funzioni *spline*; cenno ad altri tipi di approssimazione (trigonometrica, razionale). [5 ore]
- Derivazione e integrazione numerica: formule di derivazione numerica su nodi equipazati e non; formule di Newton-Cotes; formule Gaussiane; formule composite; stime dell'errore; scelta automatica delle formule. [4 ore]

- Equazioni differenziali ordinarie: generalità; metodi a un passo, espliciti e impliciti, esempi; errore locale di troncamento e di discretizzazione; ordine del metodo, consistenza e convergenza; influenza degli errori di arrotondamento; metodi di Runge-Kutta; metodi multipasso, esempi; consistenza, ordine, zero-stabilità e convergenza; metodi *predictor-corrector*; il problema della stabilità assoluta; metodi per sistemi *stiff*; scelta automatica del passo e dell'ordine della formula. [10 ore]

- Equazioni alle derivate parziali: generalità; problemi ai valori al bordo e iniziali; problemi ellittici, parabolici, iperbolici; esempi; metodi alle differenze finite; introduzione al metodo degli elementi finiti: formulazione variazionale del problema; metodi di proiezione di Galerkin; concetto di triangolazione; elementi finiti lineari, quadratici, etc.; matrice elementare di rigidità e di massa; assemblaggio delle matrici globali e loro proprietà; cenno alle stime dell'errore e ai metodi adattativi; esempi. [10 ore]

## 2. Parte monografica

- Il modello matematico considerato viene tratto o dalla meccanica dei continui solidi, o dalla fluidodinamica, o dalla termodinamica. La scelta può variare di anno in anno, anche tenendo conto di eventuali suggerimenti e interessi applicativi prevalenti tra gli studenti. [12 ore]

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni mirano a dare allo studente le capacità di utilizzare in pratica gli algoritmi visti a lezione. Per ognuno degli argomenti svolti a lezione vengono forniti esempi, eventualmente contro-esempi, vengono illustrati nel dettaglio casi particolari o situazioni singolari.

Alcuni esercizi richiedono soltanto una elaborazione matematica da parte dello studente, altri esercizi conducono alla scrittura di brevi programmi da implementarsi su calcolatore. Per i problemi più complessi, si farà uso di *software* di libreria; infatti, uno degli obiettivi delle esercitazioni è quello di fornire allo studente gli strumenti di valutazione e scelta per usare al meglio i grandi pacchetti *software* ora ampiamente disponibili.

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

G. Monegato, *Fondamenti di calcolo numerico*, Levrotto & Bella, Torino, 1989.

V. Comincioli, *Analisi numerica: metodi, modelli, applicazioni*, McGraw-Hill, Milano, 1995.

Testi ausiliari:

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

## ESAME

Sono possibili due modalità di esame:

*I* La preparazione di due relazioni durante il semestre, volte alla risoluzione numerica di problemi assegnati dal docente, permette di accedere a una forma più rapida di accertamento finale, consistente nella discussione dei contenuti delle due relazioni, seguita da un breve colloquio orale su altri argomenti del corso. Le relazioni possono essere svolte in gruppo, fino a un massimo di tre studenti per gruppo, mentre l'accertamento finale è sempre individuale. Questa modalità di esame è valida soltanto per tutte le sessioni di esame che si tengono nello stesso anno solare in cui lo studente ha frequentato il corso.

*II* Chi non ha preparato le due relazioni durante il semestre di frequenza, oppure sostiene l'esame in un anno solare successivo all'anno di frequenza, accede alla forma tradizionale di accertamento finale, consistente in un articolato colloquio orale sugli argomenti del corso.

## **B1032 COSTRUZIONI AERONAUTICHE 2**

Anno: 5                      Periodo: 2  
Impegno(ore):            lezioni: 6                      esercitazioni e laboratori: 2                      (ore settimanali)  
Docente:                    **Giuseppe SURACE**                      (esercitatore: Romualdo Ruotolo)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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**

- Algebra matriciale.
- Analisi statica delle strutture aerospaziali, utilizzando il metodo degli elementi finiti.
- Meccanica delle vibrazioni lineari dei sistemi elastici ad 1, 2, ed n gradi di libertà e fenomeni connessi.
- Analisi dinamica delle strutture aerospaziali con il metodo degli elementi finiti: frequenze proprie e analisi modale, 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 ottenuti per via numerica e 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.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Impiego del metodo degli elementi finiti per la modellizzazione di una semplice struttura reticolare.

Calcolo della risposta dinamica di una struttura sollecitata da una forzante di tipo armonica.

Schematizzazione agli elementi finiti di un pannello in materiale composito mediante elementi rettangolari a quattro nodi di Kirchhoff.

Scrittura dell'equazione del moto per un pannello investito da un flusso supersonico. Calcolo della velocità critica di flutter.

Calcolo delle funzioni di risposta in frequenza e delle funzioni di risposta all'impulso.

Analisi dell'accoppiamento fluido-strutturale del vagone di un aerotreno.

Le esercitazioni in laboratorio vengono svolte mediante l'impiego di un sistema di acquisizione delle vibrazioni delle strutture presente presso il Dipartimento di Ingegneria aeronautica e spaziale. Vengono eseguite prove su barrette metalliche e pannelli, mostrando la correlazione con i dati corrispondenti ottenuti mediante lo sviluppo del corrispondente modello matematico.

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Zienkiewicz, The finite element method, McGraw-Hill.

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

Testi ausiliari:

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

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

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

Parte II, Le vibrazioni aeroelastiche. CLUT.

Shapiro, Principles of helicopter engineering, Temple.

## ESAME

Spiegazione della/delle tesine sviluppate durante il corso, e prova orale.

B1230

DINAMICA DEI GAS RAREFATTI

Sono previste alcune esercitazioni di carattere teorico sugli argomenti svolti a lezione

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Strutture - Considerazioni generali sull'aerodinamica dei velivoli ipersonici transsonici. Aerodinamica delle capsule di rientro (Mercury, Gemini e Apollo) - Aerodinamica dello spazio non equilibrio chimico - Campo fluidodinamico intorno alle regioni di stagnazione - Quantizzazione generale dei flussi ipersonici - Equazioni del moto: flussi in equilibrio e in stazionari; Flussi ipersonici

5. Applicazioni: Flussi ipersonici

4. Confronti tra dati teorici e sperimentali - Scelta del vuoto

Flussi su corpi convessi e concavi - Flussi in condotti - Strumenti per la misurazione della pressione - Flussi a passo ed alto Numero Knudsen

3. Flussi in un'onda d'urto - Oscillazioni acustiche

2. Flussi in un tubo - Il flusso di Couette - Il flusso di Poiseuille - Il paradosso di Knudsen - La teoria cinetica e il non equilibrio termodinamico - Soluzioni esatte dell'equazione di Boltzmann - Metodi integrali - Il metodo Monte-Carlo - Il principio di massima probabilità - Equazioni di Eulero; le equazioni di Navier-Stokes - Soluzioni linearizzate dell'equazione del momento - Il metodo di Enskog-Chapman - Condizioni al contorno per l'equazione di Boltzmann - Derivazione delle equazioni per la gasdinamica

1. Derivazione delle equazioni di Boltzmann - Condizioni di Ljauville - Cenni sulle proprietà degli integrali collisionali - Il teorema di Boltzmann - Equazioni della Teoria Cinetica per miscela di gas e per un gas formato da molecole con più gradi di libertà - Forma integrale dell'equazione di Boltzmann - Linearizzazione e modellizzazione dell'equazione di Boltzmann - Formulazione di problemi per l'equazione di Boltzmann - Interazione delle molecole con superfici solide - Criteri di similitudine.

3. Metodi di soluzione dell'equazione di Boltzmann

2. Teoria Cinetica del Gas

1. Introduzione

### PROGRAMMA

Il corso si intende rivolto ad allievi che posseggano le nozioni fondamentali relative ai corsi di Aerodinamica e di Gasdinamica.

### REQUISITI

spaziale e delle relative problematiche ad esse connesse.

Dopo una prima caratterizzazione e modellizzazione delle equazioni di governo, il corso ipotizza del continuo cessa di valere (ad esempio capsule di rientro, velivoli transsonici) e per affrontare lo studio dei principali

## B1230 DINAMICA DEI GAS RAREFATTI

Anno: 2 (SIA)	Periodo: 2
Impegno (ore):	lezioni: 6      esercitazioni 2      (ore settimanali)
Docente:	da nominare

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone come finalità l'acquisizione da parte dello studente delle conoscenze necessarie per affrontare lo studio dei principali problemi connessi alla dinamica dei gas nei casi in cui l'ipotesi del continuo cessa di valere (ad esempio: capsule di rientro, velivoli transatmosferici). Dopo una prima caratterizzazione e modellizzazione delle equazioni di governo, il corso si propone di applicare le conoscenze acquisite allo studio dell'aerodinamica delle capsule di rientro spaziale e delle relative problematiche ad esse connesse.

### REQUISITI

Il corso si intende rivolto ad allievi che posseggano le nozioni fondamentali relative ai corsi di *Aerodinamica* e di *Gasdinamica*.

### PROGRAMMA

#### 1. Introduzione

Struttura molecolare di un gas - Leggi dell'interazione molecolare - Collisione di particelle - Cammino libero medio - Teoria Cinetica elementare.

#### 2. Teoria Cinetica dei Gas

Descrizione del moto di un sistema multi-particellare - L'Equazione di Boltzmann - Derivazione dell'equazione di Boltzmann dall'equazione di Liouville - Cenni sulle proprietà degli integrali collisionali - Il teorema di Boltzmann - Equazioni della Teoria Cinetica per miscele di gas e per un gas formato da molecole con più gradi di libertà - Forma integrale dell'Equazione di Boltzmann - Linearizzazione e modellizzazione dell'Equazione di Boltzmann - Formulazione di problemi per l'Equazione di Boltzmann - Interazione delle molecole con superfici solide - Criteri di similitudine.

#### 3. Metodi di soluzione dell'Equazione di Boltzmann

Le equazioni di conservazione - Il metodo dei momenti - Espansione della funzione di distribuzione per mezzo di polinomi Hermitiani - Condizioni al contorno per l'equazione di momento - Il metodo di Enskog-Chapman - Derivazione delle equazioni per la gasdinamica: le Equazioni di Eulero; le Equazioni di Navier-Stokes - Soluzioni linearizzate dell'Equazione di Boltzmann - Metodi integrali - Il metodo Monte-Carlo - Il principio di massima probabilità - La Teoria Cinetica e il non equilibrio termodinamico - Soluzioni esatte dell'Equazione di Boltzmann - Il flusso di Couette - Il flusso di Poiseuille - Il paradosso di Knudsen - La struttura di un'onda d'urto - Oscillazioni acustiche.

#### 4. Flussi a basso ed alto Numero Knudsen

Flussi su corpi concavi e convessi - Flussi in condotti - Strumenti per la misurazione della pressione - Confronti tra dati teorici e sperimentali - Scarica nel vuoto.

#### 5. Applicazioni: Flussi Ipersonici

Caratterizzazione generale dei flussi Ipersonici - Equazioni del moto: flussi in equilibrio e in non equilibrio chimico - Campo fluidodinamico intorno alle regioni di stagnazione - Aerodinamica delle capsule di rientro (Mercury, Gemini e Apollo) - Aerodinamica dello Space Shuttle - Considerazioni generali sull'aerodinamica dei velivoli ipersonici transatmosferici.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

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



## B1250 DINAMICA DEL VOLO

Anno: 5                      Periodo: 1  
Impegno (ore):            lezioni: 80            esercitazioni: 20            (nell'intero periodo)  
Docente:                    **Piero GLI**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

### REQUISITI

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

### PROGRAMMA

Il programma dettagliato del corso è di seguito riportato. Sono indicati anche, per ciascun argomento principale del corso, il numero orientativo di ore necessario a svolgere, a lezione, detti argomenti.

- La dinamica del volo fondamentale. [24 ore]

Equilibrio e stabilità statica longitudinale. Determinazione della posizione del fuoco a comandi bloccati e liberi per via teorica e sperimentale. Il requisito della speed stability. Il momento di cerniera e il requisito della stabilità del comando. Sforzo di barra ed effetto dell'attrito; i requisiti del comando longitudinale: istintività, trimmabilità, sensibilità. Il moto curvo nel piano di simmetria; punto di manovra a comandi bloccati e liberi: requisiti sui gradienti elevator angle per g e stick force per g. Cenni sui problemi di equilibramento statico e dinamico della superficie di comando. Posizione limite anteriore del baricentro con e senza "effetto suolo". Moto vario del velivolo. Riferimento inerziale e riferimento velivolo: assi corpo, assi vento, assi di stabilità. Le equazioni generali del moto non stazionario; le equazioni delle forze in assi vento; le equazioni di forze e momenti in assi corpo. La linearizzazione delle equazioni con le ipotesi delle piccole perturbazioni. Equazioni in forma adimensionalizzata. Moto longitudinale: la soluzione del sistema, diagrammi di Argand. Diagrammi di stabilità, luogo delle radici, tipi di traiettoria. Moto longitudinale a comandi liberi: la soluzione del sistema; il problema dell'equilibramento della trasmissione legato al 2° e 3° modo a comandi liberi. Equazioni del moto latero-direzionale: la soluzione del sistema, diagrammi di Argand. Equazioni della cinematica e di navigazione.

- Richiami sugli strumenti analitici necessari. [8 ore]

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

- La determinazione delle derivate aerodinamiche. [12 ore]  
Metodi sperimentali e teorici nella determinazione delle derivate aerodinamiche. Le derivate aerodinamiche nelle variabili di stato del moto vario longitudinale; le derivate di controllo nell'angolo di barra dell'equilibratore. Le derivate aerodinamiche del moto vario latero-direzionale; le derivate di controllo negli angoli di barra del timone e degli alettoni.

- La risposta del velivolo al comando ed al disturbo atmosferico. [14 ore]

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

- Controlli automatici. [22 ore]

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

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

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

## **BIBLIOGRAFIA**

Amerio, Metodi matematici ed applicazioni.

Baciotti, Teoria matematica dei controlli.

Etkin, Dynamics of Atmospheric Flight.

Mangiacasale, Controlli automatici del velivolo.

McLean, Automatic flight control systems.

NASA TN D-6800, Longitudinal Aerodynamic Characteristics of Light,

Twin-Engine, Propeller-Driven Airplanes.

NASA TN D-6946, Lateral-Directional Aerodynamic Characteristics of Light,

Twin-Engine, Propeller-Driven Airplanes.

Nelson, Flight stability and Automatic Control.

Stevens, Aircraft Control and Simulation.

## **ESAME**

L'esame è costituito da un colloquio su alcuni argomenti a scelta fra quelli del corso, negli appelli fissati secondo il calendario e le regole della Facoltà.

## **B1252      DINAMICA DEL VOLO 2**

Anno: 5      Periodo: 2  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni: 2      (ore settimanali)  
Docente:      **Fulvia QUAGLIOTTI**      (collab.: Giorgio Guglieri)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso ha per oggetto l'applicazione dello studio della dinamica del corpo rigido al volo atmosferico ed extra-atmosferico. Definiti i principali sistemi di riferimento utilizzati nella dinamica del volo, le equazioni cardinali della meccanica vengono scritte per ciascuno di essi, sia in forma vettoriale che scalare. Si richiamano le ipotesi di linearizzazione delle equazioni del moto e viene trattata la modellizzazione matematica non lineare dei carichi aerodinamici. Si introduce il concetto di derivata aerodinamica e la definizione dei parametri di stabilità. Si definiscono le equazioni complete del moto in forma dimensionale e non dimensionale. Si studiano le caratteristiche di stabilità degli aeromobili e dei corpi fusiformi, estese alle condizioni di volo ad alta incidenza. Si analizzano le principali forme di instabilità, con particolare riguardo a quelle tipiche del volo ad alta incidenza.

### **REQUISITI**

Meccanica del volo, Meccanica applicata.

### **PROGRAMMA**

- Sistemi di riferimento e trasformazioni.
- Equazioni del moto di un corpo rigido nei diversi sistemi di riferimento.
- Elementi di balistica: studio delle traiettorie ed equazioni fondamentali.
- Stabilizzazione delle traiettorie: giroscopica, aerodinamica ed automatica.
- Specializzazione delle equazioni del moto per lo studio della dinamica del velivolo.
- Moto longitudinale e latero-direzionale a bassi angoli di incidenza.
- Dinamica del volo ad alti angoli di incidenza.
- Studio delle caratteristiche di manovrabilità ed agilità.
- Sistemi di controllo: richiami sulla trasformata di Laplace, risposta indiciale ed impulsiva, funzioni di trasferimento e risposta in frequenza, poli e zeri del sistema, risposta al comando (*open loop*), generalità sui sistemi di controllo lineari (*closed loop*), applicazione dei controlli con retroazione (autopilota).
- Interfaccia uomo-macchina

esame e critica della normativa vigente con particolare riferimento alle qualità di volo.

- Metodi sperimentali per la determinazione dei parametri di stabilità in galleria del vento.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Gli argomenti di esercitazione vengono inseriti tra le lezioni senza periodicità fissa.

### **BIBLIOGRAFIA**

- B. Etkin, *Dynamics of flight: stability and control*, Wiley.  
H. Ashley, *Engineering analysis of flight vehicles*, Addison Wesley.  
B. McCormick, *Aerodynamics, aeronautics and flight mechanics*, Wiley.  
L. Mangiacasale, *Meccanica del volo atmosferico*, Levrotto & Bella.

### **ESAME**

Verifica scritta o orale degli argomenti trattati.

## **B1800      ENDOREATTORI**

Anno: 5	Periodo: 2		
Impegno (ore):	lezioni 6	esercitazioni 2	(ore settimanali)
Docente:	<i>da nominare</i>		

### **PRESENTAZIONE**

Il corso descrive gli endoreattori chimici, attualmente di predominante importanza.

In una prima parte del corso sono trattati i principi fisici comuni ai diversi tipi di endoreattori chimici, quali la termochimica in camera di combustione, l'espansione nell'ugello ed il problema del raffreddamento.

In una seconda parte del corso si analizzano in dettaglio i diversi tipi di endoreattori (a propellenti liquidi, solidi ed ibridi): sono descritti i propellenti di comune impiego, il processo di combustione, i vari componenti, le peculiarità del sistema, studiandone le prestazioni per evidenziare le rispettive possibilità di impiego in campo spaziale. Vengono inoltre descritti alcuni propulsori esistenti.

### **REQUISITI**

Sono presupposte conoscenze di base nel campo delle macchine a fluido e della meccanica dei fluidi, fornite nei corsi di Macchine, Aerodinamica e Gasdinamica; sono inoltre utili nozioni acquisibili nei corsi di Motori per Aeromobili e Propulsione Aerospaziale.

### **PROGRAMMA**

#### **1. Introduzione [4 ore]**

Classificazione degli endoreattori. Definizioni di prestazioni di comune impiego in razzotecnica. Descrizione dei sistemi propulsivi dello Space Shuttle.

#### **2. Prestazioni ideali [6 ore]**

Modello di endoreattore ideale. Termochimica dei propellenti: calcolo delle condizioni in camera di combustione. Espansione dei gas combusti: composizione congelata e composizione in equilibrio chimico. Coefficiente di spinta. Prestazioni al variare del rapporto di miscela. Impulso specifico per densità. Scelta del rapporto di miscela per vettore monostadio.

#### **3. Prestazioni reali [6 ore]**

Fattori di correzione. Tempo di permanenza in camera di combustione e lunghezza caratteristica. Presenza di particelle solide/liquide nei gas di scarico; urto di condensazione. Effetti dello strato limite. Effetto della diabaticità. Effetto della cinetica chimica. Effetti della pressione ambiente e scelta del rapporto di espansione. Geometria dell'ugello: ugello ideale, ugello conico, ugello a campana, ugelli parzialmente contornati (ED, aerospace).

#### **4. Trasmissione del calore [8 ore]**

Aspetti peculiari della trasmissione del calore negli endoreattori: conduzione, irraggiamento, convezione forzata gas/parete e parete/liquido refrigerante. Boiloff. Metodi di raffreddamento attivi e passivi. Raffreddamento a ciclo rigenerativo: bilancio locale e globale, qualità desiderabili di propellente per il suo impiego come refrigerante, influenza della pressione in camera di combustione, della spinta e del rapporto di miscela; realizzazioni del sistema. Materiali ablativi e refrattari.

#### **5. Endoreattori a propellenti liquidi - parte I [14 ore]**

Propellenti liquidi: criteri di scelta del propellente, prestazioni e caratteristiche chimico/fisiche dei propellenti di comune impiego. Serbatoi; espulsione del propellente in condizioni di microgravità o con accelerazioni avverse: sistemi di controllo attivi, semiativi e passivi. Sistemi di alimentazione mediante gas pressurizzante (gas compresso, evaporazione del propellente, gas generato tramite reazione chimica). Sistema di alimentazione tramite turbopompe: cicli aperti e

cicli chiusi, pompe assiali/centrifughe, problemi di cavitazione, turbine, accoppiamento pompa/turbina.

#### 6. Endoreattori a propellenti liquidi - parte II [14 ore]

Processo di combustione di propellenti liquidi. Instabilità di combustione: tipi principali di instabilità, analisi e rimedi. Sistema di iniezione: tipi di iniettore, criteri di progetto di un iniettore. Sistema di accensione. Camera di combustione: criteri di scelta di forma e dimensione.

#### 7. Endoreattori a propellenti liquidi - parte III [6 ore]

Giunti; valvole; condotti. Calibrazione del sistema. Regolazione del modulo della spinta. Orientamento della spinta. Descrizione di alcuni endoreattori a propellenti liquidi.

#### 8. Endoreattori a propellenti solidi [8 ore]

Classificazione e caratteristiche dei propellenti solidi. Balistica interna. Processo di combustione di propellenti omogenei e compositi. Instabilità di combustione. Velocità di regressione. Relazioni fondamentali: funzionamento stazionario, condizioni di pseudo-equilibrio e transitori (accensione e spegnimento). Geometrie usuali del grano di propellente e prestazioni. Processi di produzione. Materiali e particolarità costruttive di involucri ed ugelli. Controllo della direzione della spinta. Descrizione di alcuni endoreattori a propellenti solidi.

#### 9. Endoreattori a propellenti ibridi [4 ore]

Propellenti ed applicazioni. Processo di combustione. Configurazione del grano e prestazioni.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

In ciascuna esercitazione viene, di massima, affrontato un problema diverso. Tra i temi trattati: calcolo delle condizioni in camera di combustione principale e in precombustori; scelta del rapporto di miscela per razzo monostadio e staging del bistadio; prestazioni, dimensionamento e raffreddamento della camera di spinta degli endoreattori a propellenti liquidi per un lanciatore a tre stadi; sistema di alimentazione di motore di apogeo; il sistema di alimentazione dello SSME (Space Shuttle Main Engine); progetto di endoreattore a propellente solido; progetto di endoreattore a propellenti ibridi.

È prevista una esercitazione di laboratorio in cui si rileva l'andamento della pressione in camera di combustione e della spinta di un piccolo endoreattore a propellente solido con ugello intercambiabile. Gli allievi vengono raggruppati in squadre di circa 15 unità.

### **BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento

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

Testi ausiliari

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

2. Y.M. Timnat, *Advanced Chemical Rocket Propulsion*, Academic Press, 1987.

### **ESAME**

Prova orale sui contenuti teorici del corso e discussione delle esercitazioni svolte.

## **B2024      FISICA E INGEGNERIA DEI PLASMI**

(corso ridotto)

Anno: 2 (SIA)                      Periodo: 2  
Impegno (ore):                    lezioni e esercitazioni: 50  
Docente:                            **Franco PORCELLI**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

### **PROGRAMMA DEL CORSO**

- *Definizione di plasma.*

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

- *Elementi di teoria cinetica.*

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

- *Orbite di particelle cariche e confinamento magnetico.*

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

- *Il Tokamak ed il problema della fusione termonucleare controllata.*

Schema di funzionamento di un Tokamak. Parametri caratteristici. Orbite. Confinamento dei prodotti di fusione. Magnetostatica. Stabilità verticale e controllo in feedback.

- *Modelli fluidi.*

Momenti dell'equazione cinetica. Leggi di conservazione. Limite non collisionale. L'equazione di Vlasov. Il modello CGL. Il modello magnetoidrodinamico (MHD) ideale.

- *Onde elettrostatiche.*

Onde di Langmuir. Descrizione fluida. Correzioni termiche e collisionali. Descrizione cinetica. Risonanza onda-particella e teoria dello smorzamento di Landau. Phase mixing. Instabilità di un fascio di particelle energetiche. Evoluzione nonlineare.

- Il modello MHD ideale.

Legge di congelamento delle linee di campo. La forza  $J \times B$ . Onde di Alfvén. Onde acustiche e magnetoacustiche.

## BIBLIOGRAFIA

1. R. J. Goldston and P. H. Rutherford, *Introduction to Plasma Physics*, IOP Publishing, 1995.
2. G. Schmidt, *Physics of High Temperature Plasmas*, 2nd ed., Academic Press, 1979.
3. *Dispense* (a cura di F. Porcelli).

## ESAME

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

## **B2026      FISICA E INGEGNERIA DEI PLASMI 2**

(corso ridotto)

Anno: 2 (SIA)      Periodo: 2  
Impegno (ore):      lezioni e esercitazioni: 50  
Docente:      **Franco PORCELLI**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

In questo corso, continuazione del corso di Fisica e Ingegneria dei Plasmi, verranno approfonditi alcuni aspetti di Fisica dei Plasmi. In particolare, verrà discussa la propagazione di onde elettromagnetiche nei plasmi, verrà approfondito il modello magnetoidrodinamico (MHD) ideale, si discuterà la stabilità sulla base del modello MHD resistivo, verranno introdotte alcune tecniche matematiche per lo studio di fenomeni nonlineari nei plasmi, ed infine verranno illustrate alcune diagnostiche per la misura delle proprietà dei plasmi.

### **REQUISITI**

Fisica e Ingegneria dei Plasmi.

### **PROGRAMMA**

- *Onde elettromagnetiche nei plasmi.*

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

- *Stabilità MHD.*

Energia cinetica e potenziale di un plasma. Energia delle onde MHD. Il funzionale energia potenziale. Il principio dell'energia per lo studio della stabilità di equilibri MHD. Classificazione delle instabilità.

- *Il modello MHD resistivo.*

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

- *Fenomeni nonlineari.*

Sistemi Hamiltoniani. Trasformazioni canoniche. Variabili azione-angolo. Il pendolo nonlineare. Spettro delle oscillazioni. Invarianti adiabatici. Hamiltoniana per lo studio delle orbite di cariche in campi magnetici. Conservazione del momento magnetico. Il metodo delle medie. Stabilità del pendolo rivoltato. Confinamento di cariche con campi elettrici rapidamente variabili. Onde elettrostatiche di grande ampiezza. Hamiltoniana per le linee di campo magnetico. Caso integrabile. Riconnessione magnetica. Evoluzione nonlineare dei modi resistivi. Sequenza di biforcazioni del modello MHD resistivo. Stocasticità delle linee di campo. Il criterio di Chirikov. Turbolenza magnetica.

- *Plasmi spaziali e diagnostiche.*

Campo magnetico terrestre e ionosfera. Sheath elettrostatici. Onde di shock. Tecniche di radiofrequenza per la misura della densità, temperatura e delle fluttuazioni nei plasmi. Misure *in situ*: sonde di Langmuir, analisi dei potenziali ritardati, misura di flussi ionici.

### **BIBLIOGRAFIA**

1. R. J. Goldston and P. H. Rutherford, *Introduction to Plasma Physics*, IOP Publishing, 1995.
2. G. Schmidt, *Physics of High Temperature Plasmas*, 2nd ed., Academic Press, 1979.
3. *Dispense* (a cura di F. Porcelli).

### **ESAME**

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

Anno: 2 (SIA) Periodo: 2  
 Impegno (ore): esercitazioni: 2 (ore settimanali)  
 Docente: **Claudio CANCELLI**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

### PROGRAMMA

- Le equazioni fondamentali dei moti di fluido. [16 ore]
- Propagazione di onde e diffusione molecolare. [8 ore]
- Moti vorticosi: genesi ed evoluzione della vorticità. [8 ore]
- Accenno ai flussi con potenziale di velocità. [4 ore]
- Moti turbolenti: aspetti di caos e ordine, descrizione statistica. [16 ore]
- Dispersione turbolenta: statistica di una classe di traiettorie, il processo di Wiener, il modello diffusivo, proprietà e limiti del modello. [8 ore]
- Venti geostrofici. [4 ore]
- Struttura dello strato limite terrestre; teorie di similarità. [8 ore]

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni verteranno su.

- Calcolo di campi fluidodinamici semplici (sorgente-pozzo, vortice) e di flussi viscosi incompressibili (Couette, Poiseuille). [6 ore]
- Studio dell'equazione di convezione-diffusione scalare lineare. [4 ore]
- Analisi di Fourier. [4 ore]
- Flussi stratificati: equazioni linearizzate. [4 ore]
- Equazioni di Navier-Stokes mediate per flussi turbolenti. [2 ore]
- Descrizione delle strutture coerenti presenti nei flussi turbolenti. [2 ore]

### BIBLIOGRAFIA

- R.S. Scorer, *Environmental aerodynamics*, Ellis Horwood, Chichester, 1978.  
 D.J. Tritton, *Physical fluid dynamics*, Van Nostrand Reinhold, London, 1980.

## B6100 **FLUIDODINAMICA DEI SISTEMI PROPULSIVI**

Anno: 2 (SIA)      Periodo: 1  
Impegno (ore):      lezioni: 68      esercitazioni: 24      (nell'intero periodo)  
Docente:      *da nominare*

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

### **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.

### **PROGRAMMA**

- Richiami di fluidodinamica del flusso ideale comprimibile, viscoso.
- Elementi di fluidodinamica per flussi bifase e per flussi reagenti.
- Formulazioni conservative e quasi lineari delle equazioni del moto.
- Approssimazione numerica ai volumi finiti di campi di moto supersonici stazionari.
- Approssimazione numerica con tecnica "dipendente dal tempo" di campi stazionari misti subsonici-supersonici.
- Discretizzazione dei campi a geometria complicata.
- Generazione analitica e numerica di griglie di calcolo.
- Flussi interni bidimensionali in prese d'aria e ugelli.
- Ugelli con sommergenza.
- Struttura e calcolo di getti supersonici bidimensionali o assialsimmetrici.
- Interferenza tra flusso esterno e getto.
- Problemi inversi per condotti e loro soluzione numerica.
- Il problema dell'*after-body*.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni riguarderanno lo sviluppo di un programma di calcolo per lo studio numerico di ugelli.

### **BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento:

M.J. Zucrow, J.D. Hoffman, *Gas dynamics*.

Testi ausiliari:

W.H. Heiser, D.T. Pratt, *Hypersonic airbreathing propulsion*.

C. Hirsch, *Numerical computation of internal and external flows*.

Anno: 5	Periodo: 2
Impegno (ore):	lezioni: 6    esercitazioni: 2    (ore settimanali)
Docente:	<b>Luca ZANNETTI</b> (collab.: Francesco Larocca)

## PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso fornisce strumenti teorici e computazionali di base per l'analisi del campo di moto delle turbomacchine e per il loro progetto. Data per acquisita dagli allievi, nell'ambito dei corsi di *Macchine*, la "teoria impulsiva", che permette di determinare alcune proprietà dei campi di moto all'esterno di opportune superfici di controllo racchiudenti schiere di palette, con questo corso si intende fornire mezzi analitici, empirici, numerici, che permettono la descrizione dell'insieme dei fenomeni fluidodinamici che avvengono all'interno dei canali interpallari e che costituiscono la base dei metodi di analisi e progetto di schiere palette.

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

## REQUISITI

Si considerano già acquisiti gli argomenti turbomacchinistici e di termodinamica delle macchine trattati nei corsi di *Macchine*. Il corso è offerto a studenti aeronautici e meccanici. Nozioni essenziali di fluidodinamica teorica e computazionale vengono richiamati per rendere accessibile il corso agli studenti dai cui piani di studio questi argomenti siano esclusi.

## PROGRAMMA

- Richiami di fluidodinamica. [6 ore]

Le equazioni Eulero. L'equazione di Crocco. Le equazioni del moto nel riferimento cilindrico. Il flusso bidimensionale: la funzione di corrente. Il potenziale della velocità. Le equazioni complete del potenziale e della funzione di corrente.

- Il flusso potenziale. [8 ore]

Il potenziale complesso, la velocità complessa. I campi di moto fondamentali. Il campo di moto attorno a un cilindro circolare con e senza circuitazione. Il campo attorno a corpi cilindrici non circolari, il metodo delle trasformazioni conformi. Studio di profili isolati la condizione di Kutta. La trasformazione di Joukowski. Le forze agenti su profili, la formula di Blasius. Il teorema di Kutta-Joukowski. Profili isolati con geometria arbitraria la trasformazione di Theodorsen. Tecniche di trasformazioni conformi: l'analogia idrodinamica, la tecnica delle riflessioni.

- Studio analitico del moto 2D in schiere. [12 ore]

Il metodo di Weinig. Le forze agenti su una schiera palette, generalizzazione del teorema di Kutta-Joukowski. Schiere di profili con geometria arbitraria, la trasformazione di Ives e la trasformazione di Theodorsen-Garrick. L'uso di elaboratori per calcolare e visualizzare il flusso potenziale attorno a profili singoli e in schiera.

- Valutazione empirica delle prestazioni di schiere. [6 ore]

Rilevazione sperimentale delle prestazioni di una schiera: lo stallo. La correlazione di Howell, problemi di analisi e di progetto. Collezione dei dati sperimentali NACA. Effetti legati alla comprimibilità: *Mach* critico, *Mach* massimo, *choking*, loro dipendenza dall'incidenza.

- Stadio 2D di compressore assiale. [4 ore]

I triangoli di velocità. Fattore di carico, coefficiente di portata, grado di reazione. Linea di evoluzione termodinamica di un gas attraverso uno stadio. Effetto del grado di reazione sullo stallo in bassa ed alta velocità.

- Studio 3D di uno stadio di compressore assiale. [4 ore]
- Equilibrio radiale: problema di progetto e di analisi. Progetto di uno stadio: criteri di svergolamento. Flussi secondari. Stallo rotante, pompaggio.
- Richiami di aerodinamica supersonica. [8 ore]
- Caratteristiche ed equazioni di compatibilità. Il piano odografico e il metodo delle caratteristiche. Espansione di Prandtl-Meyer. Fenomeni d'urto. La polare dell'urto. Urti su corpi appuntiti e corpi tozzi.
- Correnti supersoniche su schiere. [4 ore]
- La lamina piana isolata. Fenomeni al bordo d'uscita aguzzo di profili singoli e in schiera. Fenomeni su bordi d'uscita tozzi di profili per turbine.
- Incidenza unica. [4 ore]
- Peculiarità delle correnti supersoniche assialmente subsoniche. L'incidenza unica. La soluzione di Ferri. Il metodo di Levine.
- Elementi di fluidodinamica computazionale. [8 ore]
- La "tecnica dipendente dal tempo" per risolvere numericamente le equazioni del moto. Moto 1D metodo delle caratteristiche, metodi "lambda" alle differenze finite. Metodi conservativi: le leggi di conservazione e loro discretizzazione. Moto multidimensionale: varietà caratteristiche, bicaratteristiche. Metodi FVS e FDS.
- Soluzioni numeriche in schiere. [4 ore]
- Flussi in condotti: problemi di progetto e di analisi. Condizioni al contorno. Struttura di un codice di calcolo. Presentazione seminatale di soluzioni numeriche di problemi 2D e 3D in turbomacchine.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni verteranno su:

- Richiami di termodinamica.
- Nomenclatura e tracciamento di profili in schiera.
- Trasformazioni conformi e potenziale complesso: Joukowski e Weing.
- Coefficiente di diffusione per lamine piane in schiera.
- Coefficiente di diffusione per profili in schiera tramite correlazioni sperimentali.
- Dimensionamento di massima di un compressore assiale.
- Getto supersonico col metodo delle caratteristiche.
- Calcolo curva incidenza unica.

## **BIBLIOGRAFIA**

Testi di riferimento:

In preparazione testo del docente (attualmente disponibili i primi due moduli).

Appunti delle lezioni.

Testi ausiliari:

Horlock, *Axial flow compressors*.

Vavra, *Aero-thermodynamics and flow in turbomachinery*.

Wislicenus, *Fluid mechanics of turbomachinery*.

## B2140 FLUIDODINAMICA SPERIMENTALE

Anno: 2 (SIA) Periodo: 1  
Impegno (ore): lezioni: 52 laboratorio: 48 (nell'intero periodo)  
Docente: da nominare

### PRESENTAZIONE

Il corso, di carattere teorico-sperimentale, si propone come finalità, l'acquisizione da parte dello studente delle conoscenze necessarie per affrontare sperimentalmente lo studio di problemi di carattere fluidodinamico. Sono pertanto esaminati impianti di sperimentazione, tecniche di misura, strumentazioni, tecniche di acquisizione e di analisi di dati, peculiari della sperimentazione fluidodinamica. Il corso prevede anche uno studio di base di alcuni flussi tipici come getti, scie e strati limite che comporterà un'analisi essenzialmente di tipo sperimentale.

### REQUISITI

Aerodinamica e Gasdinamica.

### PROGRAMMA

Richiamo delle equazioni fondamentali della fluidodinamica. Analisi dimensionale e leggi di similitudine.

Misura della pressione e del vettore velocità in flussi complessi. Misura dello sforzo di attrito a parete in flussi bi e tridimensionali. Misura di forze.

Anemometria a filo caldo con applicazione a flussi turbolenti. Valutazione del livello di turbolenza.

Misura del fattore di intermittenza e degli sforzi di Reynolds. Funzione di autocorrelazione.

Determinazione della macroscala spazio-temporale di un flusso turbolento. Valutazione dello spettro delle fluttuazioni turbolente. Anemometria Laser Doppler. Tecniche di visualizzazione dei flussi.

Gallerie del vento subsoniche per impiego di carattere aeronautico e non (gallerie per la sperimentazione automobilistica e gallerie per la simulazione del vento atmosferico impiegate nell'ambito dell'ingegneria civile e ambientale). Gallerie del vento transoniche, supersoniche e ipersoniche.

Tecniche di acquisizione di dati: analogiche e digitali. Teorema di Nyquist. Requisiti per la valutazione delle quantità turbolente. Acquisizione in serie e parallela di più segnali. Analisi dei dati.

Strumentazione per lo studio sperimentale. Errori di misura e loro propagazione in una catena di misura.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni sono condotte prevalentemente in laboratorio. Una prima parte di esse sarà dedicata alle tecniche di misura, con particolare riguardo alla misura delle pressioni, del vettore velocità in flussi complessi e nell'applicazione della tecnica anemometrica a filo caldo per lo studio di flussi turbolenti. Seguiranno una serie di esercitazioni finalizzate verso una comprensione di base della fenomenologia di flussi tipici, quali getti, scie e strati limite. Di volta in volta saranno anche organizzate esercitazioni dedicate sia verso lo studio degli impianti esistenti in laboratorio, sia verso la sperimentazione in fase di svolgimento nelle varie gallerie del vento.

### BIBLIOGRAFIA

P. BRADSHAW, *Experimental Fluid Mechanics*, una schiera, lo stallio, La correlazione di Howell.  
GOLDSTEIN, *Fluid Mechanics, Measurements*. A. POPE *Wind Tunnel Testing*, CA. Effetti legati alla  
D.J. TRITTON *Physical Fluid Dynamics*, una schiera, lo stallio, loro dipendenza dall'incidente.

### ESAME

L'esame prevede una prova orale e consiste nella discussione critica di una o più esercitazioni e nella verifica di alcuni argomenti trattati a lezione.

## B2222 GASDINAMICA 2

Anno: 5	Periodo: 2		
Impegno (ore):	lezioni: 6	esercitazioni e laboratori: 2	(ore settimanali)
Docente:	da nominare		

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Scopo del corso è quello di introdurre i principali metodi di soluzione numerica delle equazioni della meccanica dei fluidi. I principi basilari dei metodi numerici per la soluzione dei problemi di convezione e diffusione sono presentati per il caso di equazioni modello, e successivamente estesi alle leggi di bilancio per flussi viscosi compressibili ed incompressibili. Durante il corso sono previste Esercitazioni al computer, durante le quali i metodi di calcoli presentati a lezione vengono applicati alla simulazione di flussi laminari e turbolenti. È prevista sia la stesura di semplici programmi in Fortran, che l'impiego di codici di calcolo esistenti.

### REQUISITI

Aerodinamica, Gasdinamica.

### PROGRAMMA

- Introduzione alle equazioni differenziali alle derivate parziali e loro soluzione numerica. [20 ore]  
Classificazione delle equazioni differenziali alle derivate parziali. Condizioni iniziali ed al contorno. Metodi alle differenze finite. Convergenza, consistenza e stabilità degli schemi alle differenze. Metodi agli elementi finiti. Schemi di integrazione espliciti ed impliciti. Metodi di soluzione per problemi multidimensionali. Estensione a geometrie complesse. Soluzione dei sistemi lineari. Soluzione numerica dell'equazione scalare di convezione-diffusione.

- Equazioni di bilancio della meccanica dei fluidi. [4 ore]

Equazioni di bilancio, legami termodinamici e relazioni costitutive. Proprietà matematiche dei differenti modelli fluidodinamici.

- Coordinate curvilinee e trasformazione delle equazioni di bilancio. [6 ore]

Griglie di calcolo strutturate e non strutturate. Metodi di generazione di griglie per applicazioni fluidodinamiche.

- Simulazione di flussi viscosi compressibili. [24 ore]

Discretizzazione dei termini convettivi mediante schemi *upwind* (*flux vector splitting*, *flux difference splitting*). Metodi misti volumi finiti - elementi finiti. Metodo agli elementi finiti SUPG.

- Simulazione di flussi viscosi incompressibili. [20 ore]

Formulazione in variabili primitive e formulazione vorticità - funzione di corrente. Compressibilità artificiale. Metodi alle differenze finite (MAC, SIMPLE). Metodi agli elementi finiti (*least squares formulation*).

- Simulazione di flussi turbolenti. [6 ore]

Formulazione statistica delle equazioni di bilancio. Modelli di chiusura. Metodi di calcolo.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vertono sull'applicazione dei metodi presentati nelle lezioni. È prevista la stesura di programmi in Fortran, per l'analisi di differenti algoritmi applicati ad equazioni modello, e l'impiego di programmi di calcolo per lo studio di flussi in geometrie semplici, ed applicazioni a problemi di interesse fluidodinamico.

### BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

P. Colella, E.G. Puckett, *Modern numerical methods for fluid flows*, 1994.



## B2570 IMPIANTI AERONAUTICI

Anno: 5	Periodo: 1			
Impegno (ore):	lezioni: 4	esercitazioni: 2	laboratori: 2	(ore settimanali)
Docente:	<b>Sergio CHIESA</b> (collab.: Paolo Maggioro)			

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

L'obiettivo del corso è duplice: presentare agli allievi l'impiantistica di bordo dei moderni aeromobili e introdurre i concetti della progettazione sistemistica.

Per quanto riguarda il primo aspetto viene illustrata l'importanza che gli impianti o sistemi di bordo hanno ormai assunto (rispetto alle componenti strutturale e propulsiva) dai punti di vista delle prestazioni, della sicurezza, del peso, dell'affidabilità e dei costi (d'acquisto e di manutenzione); l'illustrazione dei diversi impianti, ognuno con le sue peculiarità e, quando possibile, con l'ausilio di Esercitazioni di laboratorio, completa la visione suddetta.

Per quanto riguarda la progettazione sistemistica essa viene illustrata come la più sofisticata forma di progettazione, consistente nel definire, sulla base delle specifiche da soddisfarsi, le caratteristiche di interfaccia (e quindi le specifiche) dei vari componenti che, debitamente integrati, costituiranno il sistema; l'approccio alla progettazione sistemistica viene esemplificato per i vari impianti e, per i principali, simulato in apposite Esercitazioni; il quadro è completato, nell'ultima parte del corso, dagli argomenti concernenti la stima dei pesi, la stima dei costi, l'affidabilità, la sicurezza e la manutenzione dei sistemi, evidenziando come esse possano essere gestite in fase di progettazione.

### REQUISITI

Concetti base delle varie branche della fisica. Conoscenza generale sugli aeromobili.

### PROGRAMMA

- Presentazione del Corso, concetti generale sull'impiantistica di bordo e sulla progettazione sistemistica. [4 ore]
- Comandi di volo, carrello d'atterraggio, impianti antincendio, ossigeno e acqua sanitaria. [4 ore]
- Impianto oleodinamico: concetti generali, componenti, configurazioni. Progettazione dell'impianto idraulico (ambito in cui si illustrano i concetti di standardizzazione e il calcolo delle perdite di carico). [12 ore]
- Impianto elettrico: concetti generali, componenti, configurazioni, con particolare risalto al confronto tra generazione in corrente continua e alternata e al problema della costanza della frequenza. [8 ore]
- Impianti pneumatico, condizionamento, antighiaccio, APU e avviamento pneumatico dei motori. Per condizionamento e antighiaccio si esaminano le diverse soluzioni, anche quelle non connesse con l'impianto pneumatico. Per il caso di tutti gli impianti suddetti connessi al pneumatico si delineano le modalità del dimensionamento. [12 ore]
- Algebra di Boole, con applicazioni di logica realizzate con componenti pneumatici. [4 ore]
- Impianto combustibile: configurazioni e circuiti vari, compreso il sistema di segnalazione del livello. [4 ore]
- Avionica: visione funzionale dei differenti tipi di apparato. Concetto di sistema integrato. Cenni all'ergonomia del *cockpit* e alle metodologie di progetto. [4 ore]
- Stima dei pesi e dei costi. [2 ore]
- Affidabilità, sicurezza e manutenzione dei componenti e dei sistemi. Tecniche FMEA e FTA. Metodologie di progettazione e concetto di efficienza di sistema. [20 ore]

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni verteranno su:

- Dimensionamento di impianto idraulico. [2 ore]
- Simulazioni computerizzate di impianto idraulico. [2 ore]
- Confronto dal punto di vista del peso di configurazioni alternative di generazione elettrica. [2 ore]
- Verifica globale di impianti pneumatico, condizionamento, antighiaccio, APU e avviamento motore con *starter* pneumatico. [2 ore]
- Esame riassuntivo del complesso degli impianti di un dato velivolo con relativa stima pesi e costi, analisi dell'albero dei difetti e ipotesi di requisiti di accessibilità. [6 ore]
- Conferenze di esponenti di industrie e visite. [10 ore]

L'attività di laboratorio sarà condotta al:

- Banco comandi di volo.
- Banco impianto idraulico.
- Banco impianto elettrico.
- Banco prova ventilatori.

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

- S. Chiesa, *Impianto idraulico*, CLUT.
- S. Chiesa, *Impianto elettrico*, CLUT.
- S. Chiesa, *Impianto pneumatico*, CLUT.
- S. Chiesa, *Impianto combustibile*, CLUT.
- S. Chiesa, *Sicurezza, affidabilità e manutenzione nel progetto dei sistemi*, CLUT.

Testi ausiliari:

- B. McKinley, *Basic science of aerospace vehicles*, McGraw-Hill.
- G. D'Elia, *Impianti degli aerei*, Masson Italia.

## ESAME

Esame orale, con presentazione di un quaderno che raccoglie le relazioni delle diverse Esercitazioni d'aula e di laboratorio.

## B3170 MATEMATICA APPLICATA

Anno: 3	Periodo: 2			
Impegno (ore):	lezioni: 6	esercitazioni: 1	laboratori: 1	(ore settimanali)
Docente:	<b>Miriam PANDOLFI BIANCHI</b>		(collab.: Roberto Monaco)	

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

### REQUISITI

Si ritiene necessario avere seguito i corsi di Analisi matematica e Meccanica razionale.

### PROGRAMMA

- Problemi ai valori al contorno omogenei e non omogenei. [14 ore]

Formulazione operatoriale, esistenza delle soluzioni; modello matematico della conduzione stazionaria del calore. Equazione di Eulero-Cauchy; formula di Abel e metodo di variazione dei parametri. Problemi agli autovalori: applicazioni fisiche a problemi connessi alla determinazione di configurazioni di equilibrio ed a fenomeni stazionari; equazioni unidimensionali di Poisson e di Helmholtz.

- Teoria di Sturm-Liouville. [13 ore]

Operatori autoaggiunti e simmetrici, identità di Lagrange e formula di Green; dimostrazione delle proprietà delle autofunzioni e degli autovalori di un operatore simmetrico. Sistemi di S.-L. regolari, periodici e singolari. Metodi di approssimazione dei residui pesati: collocazione e Galerkin.

- Funzioni di Green. [4 ore]

Metodo delle funzioni di Green per problemi ai valori iniziali. Interpretazione fisica della funzione di Green.

- Introduzione alle equazioni differenziali alle derivate parziali. [6 ore]

Classificazione delle equazioni differenziali del secondo ordine in due variabili. Problemi ben posti. Equazioni a coefficienti costanti. Soluzione di d'Alambert dell'equazione delle onde unidimensionale. Uso della tecnica della separazione delle variabili per certe equazioni della fisica matematica.

- Rappresentazione di funzioni. [10 ore]

Serie di Fourier di funzioni periodiche; disuguaglianza di Bessel e teorema di Riemann. Serie di Fourier generalizzate e loro impiego in problemi ai valori al contorno non omogenei e nella costruzione della funzione di Green. Rappresentazione integrale di Fourier. Trasformata di Fourier e teorema di convoluzione. Uso delle trasformate di Fourier per risolvere problemi di diffusione in una dimensione spaziale.

- Equazione del calore. [6 ore]

Modello unidimensionale. Ricerca delle soluzioni per diversi insiemi di condizioni al contorno ed eventuali termini di sorgente: barra con estremi a temperatura nulla, a temperatura costante, isolati, con convezione in un estremo. Estensione al caso della piastra piana isotropa.

- Equazione delle onde. [4 ore]

Modello unidimensionale. Moti liberi e forzati della corda vibrante. Membrana vibrante fissa ai bordi, rettangolare e radial-simmetrica.

- Equazione del potenziale. [6 ore]

Proprietà delle funzioni armoniche. Unicità del problema di Dirichlet e del problema di Neumann; principio del *min-max* e stabilità. Laplaciano in coordinate polari. Distribuzione stazionaria della temperatura nella piastra sottile rettangolare e circolare.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni verteranno su:

- Approssimazione di dati e di funzioni. [6 ore] Metodo dei minimi quadrati nei casi lineare e non lineare; metodo della linearizzazione dei dati. Interpolazione polinomiale a tratti, di Lagrange, di Newton, di Chebyshev e con splines cubiche.

- Retta dei minimi quadrati e calcolo del coefficiente di correlazione. Interpolazione con polinomi di Lagrange: nodi equispaziati e nodi di Chebyshev. Algoritmo di Horner per il calcolo del polinomio in un dato punto ed algoritmo delle differenze divise. [3 ore]

- Calcolo di autovalori. Impiego del metodo delle secanti e di Newton per il calcolo approssimato degli autovalori. Linea elastica di una trave semplicemente appoggiata e soggetta a carico distribuito; calcolo dello spostamento massimo. Carico di Eulero. Integrazione di Simpson. Confronto tra i metodi di collocazione e di Galerkin. [4 ore]

- Studio grafico della convergenza delle serie di Fourier. Fenomeni di Gibbs. [2 ore]

- Problema del calore per una barra con estremi a temperatura costante: studio del transitorio e della soluzione di equilibrio per diversi materiali. Approccio numerico con il metodo delle differenze finite. Metodo delle quadrature differenziali per l'equazione del calore non lineare. [5 ore]

Gli studenti in gruppi di 2-5 unità svolgeranno al LAIB, nelle restanti ore disponibili, le Esercitazioni pratiche corrispondenti agli argomenti svolti nelle Esercitazioni in aula, implementando tutti gli algoritmi necessari. In sede di LAIB gli studenti ricevono la maggior parte dei programmi necessari in BASIC.

## **BIBLIOGRAFIA**

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

Testo ausiliario:

*Numerical methods for computer science, engineering, and mathematics/* John H. Mathews. - Prentice-Hall, 1987.

## **ESAME**

L'esame comprende una prova orale e una parte scritta costituita da una tesina, redatta nel *word processor* prescelto, in cui si compendiano gli argomenti delle Esercitazioni. Questa può contenere approfondimenti originali e sarà svolta nell'ambito dei gruppi di appartenenza. Ogni applicazione, preceduta da una breve descrizione teorica, conterrà sia i grafici che la descrizione dei programmi di calcolo utilizzati.

## **B3310 MECCANICA DEL VOLO DELL'ELICOTTERO**

Anno: 5      Periodo: 2  
Impegno (ore):      lezioni: 4      esercitazioni e laboratori: 4      (ore settimanali)  
Docente:      **Salvatore D'ANGELO**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è articolato in due parti, la prima delle quali è dedicata allo studio dell'elica aeronautica: vengono esposte le teorie che sono alla base del calcolo aerodinamico dell'elica. Le esercitazioni relative sono mirate alla messa a punto di programmi di calcolo per il progetto dell'elica di massimo rendimento e il calcolo delle prestazioni delle eliche reali.

La seconda parte del corso è dedicata all'elicottero: vengono presi in considerazione tutti i gradi di libertà della macchina elicottero tradizionale e del suo rotore. Particolare attenzione viene dedicata ai diversi metodi di calcolo delle sue prestazioni: tali metodi vengono applicati, tramite programmi numerici elaborati dagli studenti durante le Esercitazioni, ad una particolare macchina, di cui vengono forniti i dati caratteristici.

Le Esercitazioni, oltre ad essere un necessario compendio delle lezioni, raggiungono lo scopo di avviare gli studenti all'uso di un linguaggio di programmazione per la scrittura dei programmi e all'uso di *software* per la elaborazione dei dati.

### **REQUISITI**

Aerodinamica e Meccanica del volo.

### **PROGRAMMA**

- Eliche. [lezione 20 ore + 16 di Esercitazioni]

Teoria del disco attuatore. [2 ore]

Parametri fondamentali dell'elica. [1 ora]

Categorie e condizioni di funzionamento. [1 ora]

Il campo aerodinamico. [1 ora]

Velocità e pressioni nella scia dell'elica: equazione di Crocco. [1 ora]

Teoria impulsiva per l'elica propulsiva. [2+2 ore]

Teoria completa della quantità di moto. [2+2 ore]

Teoria di prima approssimazione: definizione dell'elica, ad infinite pale, di ottimo rendimento propulsivo. [2+2 ore]

Generalità sulla teoria vorticale. [2 ore]

Teoria vorticale: definizione dell'elica, con un numero finito di pale, di ottimo rendimento propulsivo. [2+2 ore]

Teoria alare dell'elica: calcolo delle prestazioni dell'elica reale con il metodo delle velocità effettive. [2+4 ore]

Teoria alare dell'elica: calcolo delle prestazioni dell'elica reale con il metodo degli incrementi medi. [2+4 ore]

- Elicotteri. [20 ore]

Generalità sull'elicottero tradizionale: forze applicate e gradi di libertà della pala. [2 ore]

Schemi costruttivi del mozzo del rotore. Macchine generatrici di portanza a punto fisso.

Dispositivo del piatto oscillante per la variazione del passo ciclico e del passo collettivo. [2 ore]

Teoria semplice della quantità di moto applicata al rotore ideale. [3 ore]

Calcolo dell'incremento medio di velocità in: volo a punto fisso; volo verticale; volo in avanti.

Diagramma delle potenze in: volo a punto fisso; volo verticale. Esercitazione relativa. [4 ore]

Quote di tangenza nella salita verticale.

- Teoria dell'elemento di pala applicata al rotore reale. [5 ore]
- Calcolo dello svergolamento necessario per ottenere un incremento di velocità al disco costante a punto fisso. Calcolo della distribuzione dell'incremento di velocità al disco: in volo a punto fisso; in volo verticale. Esercitazione relativa. [2 ore]
- Calcolo della potenza di profilo e diagramma delle potenze in: volo a punto fisso; volo verticale. Esercitazione relativa. [2 ore]
- Potenza richiesta dal rotore in volo orizzontale: calcolo della resistenza di profilo e della resistenza parassita; calcolo della massima velocità di avanzamento. Esercitazione relativa. [4 ore]
- Quota di tangenza nel volo a punto fisso fuori ed in effetto suolo.
- Parametri caratteristici del rotore. [1 ora] Esercitazione relativa. [1 ora]
- L'autorotazione. [3 ore]
- Autorotazione verticale: stabilità dell'autorotazione; stati di flusso dell'autorotazione; diagramma di Glavert-lock. Esercitazione relativa. [1 ora]
- Autorotazione nel volo in avanti. Esercitazione relativa. [2 ore]
- Velocità tangenziale minima e tempo di entrata in autorotazione. La cerniera di flappeggio. [2 ore]
- Conicità del rotore a punto fisso. Stabilità statica e dinamica del moto di flappeggio nel volo stazionario. Effetto dell'eccentricità della cerniera di flappeggio. Aerogeneratori. [2 ore]
- Conferenze di tecnici della ditta elicotteristica AGUSTA. [4 ore]
- Conferenze tenutesi nell'anno accademico 1994/95: *Concurrent engineering*. Prove sperimentali in galleria.
- Visita agli stabilimenti della ditta elicotteristica AGUSTA. [7 ore]

## BIBLIOGRAFIA

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

## ESAME

Verifica orale degli argomenti trattati e delle relative Esercitazioni svolte.

## **B3960**      **PRINCIPI DI AEROELASTICITÀ**

Anno: 5      Periodo: 1  
Impegno (ore):      lezioni: 76      esercitazioni: 22      laboratori: 2      (nell'intero periodo)  
Docente: **Gianfranco CHIOCCIA**

### **PRESENTAZIONE**

Il corso intende fornire le basi per la comprensione fisica dei principali fenomeni causati dall'interazione tra una corrente fluida ed una struttura elastica, con prevalente riferimento a quelle di tipo aeronautico. Tali fenomeni possono essere sia stazionari che non; nel secondo caso l'attenzione cade principalmente su quelli oscillatori e sulle instabilità correlate. Il corso si ripromette inoltre di illustrare i principali criteri per la rappresentazione matematica dei fenomeni aeroelastici, nonché i più importanti procedimenti di calcolo in uso. Data l'importanza per lo studio dei fenomeni dinamici, un congruo numero di lezioni è dedicato alla esposizione di elementi di aerodinamica non stazionaria che non trovano posto nei corsi di base.

### **REQUISITI**

Aerodinamica - Scienza delle costruzioni - Meccanica applicata

### **PROGRAMMA**

1. Classificazione dei fenomeni aeroelastici. Diagrammi funzionali ed operatori aeroelastici (2 ore)
2. Galloping e vibrazioni indotte da vortex shedding (3 ore)
3. Richiami sull'elastomeccanica di ali e fusoliere. Equazioni differenziali ed integrali dell'equilibrio elastico statico e dinamico in strutture unidimensionali a sbalzo. Coefficienti e funzioni d'influenza a flessione e torsione per ali diritte e a freccia. Moti torsionali e flessionali puri ed accoppiati. Cenni sui sistemi a sviluppo superficiale: superfici portanti a basso allungamento e pannelli (6 ore)
4. Principali metodi per la discretizzazione e soluzione delle equazioni dell'aeroelasticità: collocazione diretta, collocazione a mezzo funzioni di forma e trasformata modale, metodi di Galerkin e di Rayleigh-Ritz (3 ore)
5. Problemi aeroelastici statici piani: divergenza torsionale e inversione d'effetto della superficie di comando; divergenza flessio-torsionale del tronco di coda con impennaggi orizzontali. Problemi spaziali: divergenza e distribuzione della portanza su ali a grande allungamento sia diritte che a freccia. Divergenza flessionale nelle fusoliere e nei vettori spaziali (16 ore)
6. Aerodinamica non stazionaria: equazioni generali e loro forma linearizzata. Campi incompressibili piani: moto accelerato di un cilindro, forze virtuali, rilascio di vorticità a valle, avvio improvviso di una lamina piana con incidenza e raffica a gradino. Profili sottili in moto vario ed armonico investiti da una corrente uniforme. Importanza degli sfasamenti tra spostamenti e forze aerodinamiche ai fini aeroelastici. Campi incompressibili spaziali: ali sottili ad allungamento finito e corpi snelli (22 ore)
7. Aerodinamica non stazionaria: moti compressibili. Soluzioni elementari in un mezzo a riposo e in una corrente in moto sia subsonico che supersonico. Profili ed ali sottili oscillanti armonicamente ed investiti da correnti subsoniche e supersoniche (6 ore)
8. Flutter classico: interpretazione energetica e descrizione. Equazioni per un modello piano e metodi per la loro soluzione. Analisi parametrica e metodi di prevenzione. Effetto della compressibilità e della quota di volo. Modelli matematici per ali allungate diritte e a freccia. Flutter degli alettoni (12 ore)
9. Flutter dei pannelli. Flutter di stallo. Whirl-flutter dei rotori degli aerei V-STOL e degli aeromotori. Buffeting. Buzz e buffeting transonico (6 ore)

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono il calcolo dei parametri aeroelastici critici per strutture semplici, sulle quali si eseguono anche misure e verifiche in aula. Sono previste 2 ore di laboratorio alla fine del corso, durante le quali le strutture studiate vengono provate in galleria del vento e i risultati confrontati con quelli teorici ottenuti. Altre esercitazioni comprendono calcoli aerodinamici o la visione commentata di filmati di fenomeni aeroelastici.

## BIBLIOGRAFIA.

Per gli argomenti strettamente aeroelastici (punti da 1. a 5. e da 8. a 9. del programma) il testo: - G. Chiocchia, Principi di Aeroelasticità, Levrotto & Bella, Torino, 1990

Per gli argomenti di aerodinamica non stazionaria (punti 6. e 7. del programma): dispense da fotocopiare messe a disposizione del docente.

## ESAME

Tradizionale, basato su colloquio orale.

## B4190 PROGETTAZIONE DI STRUTTURE AEROSPAZIALI

Anno: 5	Periodo: 2			
Impegno (ore):	lezioni: 6	esercitazioni: 1	laboratori: 1	(ore settimanali)
Docente:	da nominare			

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di fornire agli allievi, dopo una descrizione della tecnologia di produzione delle strutture aeronautiche e spaziali realizzate in materiale composito, le nozioni fondamentali sulla progettazione di elementi di strutture in materiale composito; verranno prese in esame le teorie relative alle strutture a guscio ed a semiguscio realizzate con materiali anisotropi, mettendo in particolare in risalto i fenomeni nonlineari tipici delle strutture aerospaziali.

### REQUISITI

Per una migliore comprensione del corso viene richiesta la conoscenza delle seguenti materie: Scienza delle costruzioni, Costruzioni aeronautiche e Progetto di aeromobili.

### PROGRAMMA

- Nuove tecnologie e nuovi materiali per una maggiore efficienza energetica di un velivolo. Tecnologia dei materiali compositi: produzione delle fibre di carbonio, di boro, di vetro ed aramidiche. Composizione della matrice: resine epossidiche, poliammidiche, termoplastiche, metallica e ceramica. Lavorazione dei pre-impregnati. Polimerizzazione del composito. Caratteristiche fisico-meccaniche. *Filament winding*, *poltrusion*, SMC.
- Esempi di strutture realizzate in composito: timone DC-10, equilibratore e timone Boeing B-767, deriva Lockheed L-1011, Airbus A-310, A-340. Ala ed impennaggi Harrier AV-8V, ala ed impennaggi EFA, strutture spaziali, ecc. 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 del laminato. Teoria classica secondo le ipotesi di Kirchhoff-Love. Rigidezze estensionali, di accoppiamento e flessionali di un laminato anisotropo con orientazione arbitraria delle fibre. Carichi termici ed igroscopici. Stato di tensione e di deformazione nelle singole lamine del generico laminato. Modi di rottura e criteri di rottura di un laminato multistrato. Effetti igrotermici sulla stabilità dimensionale. Limiti di validità della CLT e tensioni interlaminari.
- Limiti di stabilità elastica dei pannelli ortotropi soggetti a compressione uni- e biassiale e/o taglio. Studio delle equazioni differenziali di equilibrio del pannello.
- Flesso-torsione della trave; tensioni correttive in una generica trave per effetto dei vincoli; teoria di Wagner. Instabilità torsionale dei pannelli irrigiditi ed influenza della componente flesso-torsionale. Ottimizzazione della massa minima.
- Metodi energetici nell'analisi statica e dinamica dei pannelli anisotropi; metodo di Rayleigh-Ritz; metodo di Galerkin. Laminati solidi e *sandwich*: influenza della deformazione a taglio trasversale. Calcolo della deformata di un pannello soggetto a carico laterale. Carichi critici di un pannello soggetto a carichi combinati nel piano. Teoria di ordine superiore.
- Analisi nonlineare dei pannelli anisotropi soggetti a compressione biassiale e taglio. Funzione di Airy ed equazione di congruenza. Risoluzione con il metodo di Galerkin; deformata in condizioni di *post-buckling*; effetto delle imperfezioni iniziali.
- Cassoni alari soggetti a flessione: effetto dei carichi di schiacciamento, conseguenti alla curvatura dell'ala, sulla deformata dei pannelli; limiti dell'analisi lineare e effetti nonlineari sul

comportamento dei pannelli soggetti a compressione uniassiale e carico laterale. Cassoni alari a torsione: effetto della tensione diagonale parziale sull'angolo di torsione; applicazione del principio dei lavori virtuali per il calcolo del comportamento reale.

- Progettazione delle giunzioni meccaniche e per incollaggio nelle strutture in composito.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni riguarderanno:

- Proiezione filmato su realizzazione e prove in volo del velivolo ad energia solare *Solar Challenger*.

- Determinazione delle caratteristiche meccaniche del composito, note che siano quelle dei due costituenti il materiale e la loro percentuale in volume.

- Determinazione delle rigidzze estensionali, di accoppiamento e flessionali di un laminato anisotropo con orientazione arbitraria delle fibre. Carichi igrotermici. Stato di tensione e di deformazione nelle singole lamine del generico laminato. Verifica dei criteri di rottura di un laminato multistrato.

- Verifica dei carichi critici dei pannelli irrigiditi ad I in grafite/epoxy: generale, torsionale e locale (rivestimento e corrente).

- Determinazione delle tensioni correttive in una trave con sezione a Z soggetta a torsione ed influenza della componente flesso-torsionale.

L'attività di laboratorio comprenderà:

- Realizzazione di elementi di strutture aeronautiche (pannelli irrigiditi, cassoni alari, ecc.) in materiale composito grafite/epoxy a seconda delle tesi di laurea in corso nel Dipartimento.

- Prove sperimentali di compressione biassiale e taglio su pannelli lisci o irrigiditi, di torsione o flessione pura su cassoni in grafite/epoxy a seconda delle tesi di laurea in corso nel Dipartimento.

## **BIBLIOGRAFIA**

Per la parte tecnologica vengono fornite delle dispense, redatte dal docente, che gli studenti provvederanno a fotocopiare.

Per la parte teorica si farà riferimento ad argomenti che vengono trattati nei seguenti testi:

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

T.H. Megson, *Aircraft structures for engineering students*, Arnold.

S.P. Timoshenko, J.M. Gere, *Theory of elastic stability*, McGraw-Hill.

J.M. Whitney, *Structural analysis of laminated anisotropic plates*, Technomic.

G. Romeo, G. Frulla, Pubblicazioni varie su *Analisi nonlineare*, *Pannelli irrigiditi*, *Cassoni a flessione*, *Cassoni a torsione*.

## **ESAME**

Gli studenti, per accedere agli esami, dovranno consegnare, almeno 3 giorni prima dell'appello ufficiale, un elaborato scritto sugli argomenti trattati nelle Esercitazioni. L'esame consiste in una discussione orale sugli argomenti trattati nel corso.

Anno: 5	Periodo: 2		
Impegno (ore):	lezioni: 6	esercitazioni e laboratori: 2	(ore settimanali)
Docente:	da nominare		

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

Le Esercitazioni saranno in parte dedicate a presentare esempi applicativi a livello industriale di problemi discussi nelle lezioni e in parte a: 1) approfondire particolarità applicative dei materiali di analisi di sicurezza, affidabilità e manutenibilità, e 2) presentare e discutere dati sull'ambiente spaziale.

### **PROGRAMMA**

- Introduzione al corso. [lezioni 4 ore]

Sistemi spaziali. Approccio sistemistico.

- Ambiente spaziale. [Esercitazioni 4 ore]

L'ambiente dovuto al lanciatore. Lo spazio come ambiente. Effetti sui materiali. Impatto con meteoriti. Impatto con detriti spaziali.

- Meccanica celeste. [lez. 20 ore]

Concetti generali. Problema dei due corpi. Problema dei tre corpi. Traiettorie e orbite. Aiuti gravitazionali. Problema dei due corpi perturbato. Potenziale gravitazionale della terra. Resistenza aerodinamica. Campi gravitazionali addizionali. Orbite interplanetarie.

- Analisi di missione. [lez. 6 ore, eserc. 2 ore]

L'analisi di missione come strumento di progetto. Stabilizzazione di orbite geostazionari. Stabilizzazione di orbite basse. Eclissi dei satelliti.

- Veicoli di lancio. [lez. 8 ore]

Meccanica di lancio. Requisiti di missione. Fasi del lancio e pianificazione della missione.

- Controllo d'assetto. [lez. 6 ore, eserc. 2 ore]

Sistemi di controllo d'assetto. Dinamica dell'assetto del veicolo. Determinazione dell'assetto e accessori. Logiche di controllo. Fabbisogni per il controllo.

- Sistemi di propulsione. [lez. 2 ore, eserc. 2 ore]

Considerazioni generali. Vele solari.

- Rientro in atmosfera. [lez. 10 ore]

Meccanica del rientro in atmosfera. Rientro balistico. Rientro planato. Rientri alternativi. Sistemi di protezione termica. Corridoio di rientro.

- Meccanismi spaziali. [lez. 6 ore]

Considerazioni generali. Satellite a filo. Dinamica del satellite. Manovre.

- Progetto strutturale. [lez. 12 ore, eserc. 2 ore]

Dinamica del sistema strutturale. Carichi sulle strutture. Criteri di progetto strutturale.

- Controllo termico. [lez. 6 ore, eserc. 2 ore]

Proprietà dei materiali. Trasmissione del calore. Bilancio termico. Sistemi di controllo termico. Progetto del controllo termico.

- Sicurezza, affidabilità, manutenibilità. [eserc. 10 ore]

Dati sui componenti. Valutazioni delle probabilità dei sistemi.



## **B4380      PROPULSIONE AEROSPAZIALE**

Anno: 5      Periodo: 1  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni: 2      laboratori: 2      (ore settimanali)  
Docente:      **Guido COLASURDO** (collab.: Dario Pastrone, Lorenzo Casalino)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso fornisce nozioni di base relative alla meccanica del volo nello spazio e alle caratteristiche dei propulsori impiegati. Nella prima parte del corso vengono pertanto esaminate le principali missioni nello spazio e le traiettorie di ascesa in orbita terrestre, evidenziando le corrispondenti esigenze propulsive. Nella seconda parte vengono illustrate le caratteristiche e le prestazioni dei propulsori impiegati e di possibile impiego. Particolare attenzione è dedicata agli esoreattori di nuova concezione per il volo transatmosferico.

### **REQUISITI**

Sono presupposte conoscenze di base nel campo della meccanica, fornite nei corsi di Meccanica Razionale e Meccanica Applicata alle Macchine. Per la comprensione degli argomenti trattati nella parte finale del corso, è di utilità la frequenza del concomitante corso di Motori per Aeromobili.

### **PROGRAMMA**

- Leggi di Keplero; legge della gravitazione universale. Il problema dei due corpi: costanti del moto; traiettoria; tempo di volo. Proprietà geometriche delle coniche. [8 ore]
- Sistemi cartesiani basati sul piano equatoriale e sul piano della traiettoria; trasformazione di coordinate; parametri orbitali classici. Traccia di un satellite sulla superficie terrestre; visibilità di un satellite dalla superficie terrestre. [6 ore]
- Traiettorie balistiche: equazione della gittata; equazione dell'angolo di lancio; sensitività ai parametri di lancio; influenza della rotazione terrestre. [4 ore]
- Satelliti terrestri: orbite circolari ed ellittiche; perturbazioni delle traiettorie kepleriane; orbite particolari (geostazionarie, eliosincrone, Molniya); tether; costellazioni di satelliti. Manovre orbitali nel piano e semplici cambiamenti di piano. [8 ore]
- Il problema dei tre corpi: librazioni di Lagrange; sfera di influenza di un astro; approssimazione delle "patched conics". Missioni lunari [4 ore]
- Il sistema solare; traiettorie eliocentriche di trasferimento; periodo sinodico. Traiettorie di allontanamento dalla terra; finestra di lancio. Traiettorie di avvicinamento ai pianeti; cattura; "gravity assist". [6 ore]
- Prestazioni di razzi e veicoli spaziali; definizione di spinta e resistenza. Equazione del moto di un razzo; variabili di stato e di controllo; vincoli sulla traiettoria. Equazione di Tsiolkovsky; perdite gravitazionali, per disallineamento della spinta e per resistenza atmosferica. Prestazioni del razzo monostadio; razzo polistadio. Traiettorie di un razzo per l'iniezione in orbita con propulsione continua e con fase balistica intermedia. Controllo di assetto; sensori e attuatori; satelliti stabilizzati per gravità, "spin-stabilized", "3-axis-stabilized". [12 ore]
- Requisiti del sistema propulsivo. Classificazione dei propulsori sulla base della fonte di energia. Prestazioni degli endoreattori chimici a propellenti solidi, liquidi e ibridi. Sistemi propulsivi con generazione di potenza elettrica: impulso specifico ottimale. Propulsori elettrotermici, elettrostatici ed elettromagnetici. Propulsione nucleare. [6 ore]
- Propulsori avanzati per il volo ipersonico transatmosferico. Caratteristiche dell'atmosfera; corridoio di volo. Carico utile per il volo ipersonico di crociera e per l'inserzione in orbita mediante velivolo transatmosferico. Autoreattore; autoreattore con combustione supersonica.
- Propulsori multiciclo. Integrazione del propulsore nel velivolo: presa; ugello. [12 ore]

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

- Programma delle esercitazioni in aula

In ciascuna esercitazione viene, di massima, affrontato un problema diverso di meccanica del volo spaziale, curandone particolarmente gli aspetti numerici. Tra i temi: traccia di un satellite sulla superficie terrestre; progetto di una costellazione di satelliti; trasferimento in orbita geostazionaria; missione Terra-Luna; missione su Marte; ascesa in orbita di un razzo polistadio.

- Programma delle esercitazioni in laboratorio

Nei mesi di novembre e dicembre, due ore settimanali di lezione saranno sostituite da esercitazioni svolte presso il LAIB (Laboratorio Informativo di Base). Gli allievi utilizzeranno programmi forniti dal docente per visualizzare orbite, tracce di satelliti sulla superficie terrestre e traiettorie per missioni lunari.

## BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento

F.J. Hale, "Introduction to Space Flight", Prentice-Hall, 1994.

Testi ausiliari

1. R.B. Bate, D.D. Muller, J.E. White, "Fundamentals of Astrodynamics", Dover, 1971.

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

## ESAME

Prova orale sui contenuti teorici del corso e discussione delle esercitazioni svolte.

## **B6110 PROPULSORI ASTRONAUTICI**

Anno: 2 (SIA)      Periodo: 1  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni e laboratori: 2      (ore settimanali)  
Docente:      da nominare

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso illustra le motivazioni che spingono all'utilizzo della propulsione elettrica per il controllo di assetto e di posizione dei satelliti e, a più lungo termine, per i trasferimenti orbitali e le missioni interplanetarie. Dopo aver richiamato nozioni fondamentali di propulsione spaziale e di elettromagnetismo, per ciascuna classe di propulsori elettrici vengono analizzati i principi teorici di funzionamento e valutate le possibili prestazioni, prestando per altro particolare attenzione alla descrizione dei motori effettivamente realizzati o di imminente realizzazione.

### **REQUISITI**

Per una proficua partecipazione al corso è necessario aver acquisito una conoscenza di base dell'elettromagnetismo; sono inoltre utili nozioni acquisibili nei corsi di Gasdinamica e Propulsione aerospaziale.

### **PROGRAMMA**

- Limiti energetici per le prestazioni di un propulsore chimico; propulsori con limitata potenza disponibile. Propulsori elettrici: classificazione; generatori di potenza; impulso specifico ottimale. [6 ore]
- Equazioni del moto propulso di una sonda spaziale: integrazione numerica e analitica con riferimento al caso di spinta estremamente ridotta. [6 ore]
- Richiami di elettromagnetismo: cariche elettriche e campi elettrostatici; correnti e campi elettromagnetici; equazioni di Maxwell; propagazione di onde elettromagnetiche; applicazione ad un gas ionizzato in movimento. [6 ore]
- Conduttività elettrica di un gas ionizzato: struttura atomica e processi di ionizzazione; ionizzazione di un gas in condizioni di equilibrio; miscele di gas. Urti tra le particelle di un gas; sezione d'urto. Moto di particelle cariche in campi elettrici e magnetici stazionari uniformi; effetto delle collisioni; correnti di Hall; corrente in campo elettrico alternato e magnetico stazionario. [8 ore]
- Accelerazione elettrotermica di un gas: modello unidimensionale; entalpia di un gas ad alta temperatura; perdite per flusso congelato. Resistogetti: propellenti, prestazioni, particolarità costruttive. Scarica elettrica in un mezzo gassoso. Arcogetto: modello termo-fluidodinamico; stabilizzazione dell'arco; propellenti e materiali; prestazioni. Accelerazione elettrotermica mediante scarica senza elettrodi. [8 ore]
- Propulsori elettrostatici: modello unidimensionale; legge di Child. Produzione di ioni per contatto, per bombardamento, per eccitazione in radiofrequenza. Geometria delle griglie acceleratrici. Neutralizzazione del fascio di ioni; griglia acceleratrice-deceleratrice. Propellenti, prestazioni, tipi costruttivi. Acceleratori con particelle pesanti; propulsore elettrostatico ad emissione di campo. [8 ore]
- Propulsori elettromagnetici a funzionamento stazionario: equazioni della magnetogasdinamica. Accelerazione elettromagnetica in condotto a sezione costante e in condotto divergente; perdite per strato limite, flusso congelato e bidimensionalità dei campi elettrico e magnetico. Funzionamento con bassa densità: propulsori a correnti di Hall. Produzione del plasma. Propulsori con campo magnetico autoindotto; propulsore ad arco magnetoplasmadinamico. [12 ore]

- Propulsori elettromagnetici non stazionari: requisiti del circuito elettrico; modelli dinamici del processo di accelerazione; efficienza dinamica; immagazzinamento di energia e avviamento della scarica elettrica. Accelerazione con processo pulsante induttivo. Acceleratori con onda elettromagnetica propagante nel condotto. [8 ore]

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Si effettua il dimensionamento di un propulsore a ioni per il trasferimento di un satellite da un'orbita di parcheggio [LEO] ad un'orbita geostazionaria [GEO]. Particolare attenzione è rivolta alle interrelazioni tra le caratteristiche del propulsore, la traiettoria del satellite ed il consumo di propellente.

## **BIBLIOGRAFIA**

R.G. Jahn, *Physics of Electric Propulsion*, McGraw-Hill.

## **ESAME**

Prova orale sui contenuti teorici del corso e discussione delle esercitazioni svolte.

L.R.B. Bates, D.D. Muller, J.E. White, "Fundamentals of Astrodynamics", Dover, 1971  
G.G. Sutton, "Rocket Propulsion Elements", Wiley, 1987  
C.G.P. Sauer, "Rocket Propulsion Elements", Wiley, 1987

Prova orale sui contenuti teorici del corso e discussione delle esercitazioni svolte.

- Limiti energetici per le prestazioni di un propulsore chimico; propulsori con limitata potenza disponibile. Propulsori elettrici: classificazione; generatori di potenza; impulso specifico ottimale. [6 ore]

- Educazione del moto propulsore di una sonda spaziale: integrazione numerica e analitica con riferimento al caso di spinta estremamente ridotta. [6 ore]

- Richiami di elettromagnetismo: cariche elettriche e campi elettrostatici; correnti e campi elettromagnetici; equazioni di Maxwell; propagazione di onde elettromagnetiche; applicazione ad un gas ionizzato in movimento. [6 ore]

- Conduttività elettrica di un gas ionizzato: struttura atomica e processi di ionizzazione; ionizzazione di un gas in condizioni di equilibrio; miscela di gas. Uri tra le particelle di un gas: sezione d'urto. Moto di particelle cariche in campi elettrici e magnetici stazionari uniformi; effetto delle collisioni; correnti di Hall; corrente in campo elettrico alternato e magnetico stazionario. [8 ore]

- Accelerazione elettrotermica di un gas: modello unidimensionale; entalpia di un gas ad alta temperatura; perdita per flusso congelato. Restatoggetti: propellenti, prestazioni, particolarità costruttive. Scarica elettrica in un mezzo gassoso. Arcogetto: modello termo-fluidodinamico; stabilizzazione dell'arco; propellenti e materiali. Prestazioni. Accelerazione elettrotermica mediante scarica senza elettrodi. [8 ore]

- Propulsori elettrostatici: modello unidimensionale; legge di Child. Produzione di ioni per corona, per bombardamento, per eccitazione in radiofrequenza. Geometrie delle griglie acceleratrici. Neutralizzazione del fascio di ioni; griglia acceleratrice-deceleratrice. Propellenti, prestazioni, tipi costruttivi. Acceleratori con particelle pesanti; propulsore elettrostatico ad emissione di campo. [8 ore]

- Propulsori elettromagnetici a funzionamento stazionario: equazioni della magnetostatica. Accelerazione elettromagnetica in condotto a sezione costante e in condotto divergente; perdita per stato limite, flusso congelato e bidimensionalità dei campi elettrici e magnetici. Funzionamento con bassa densità: propulsori a correnti di Hall. Produzione del plasma. Propulsori con campo magnetico autoindotto; propulsore ad arco magnetoplasmodinamico. [12 ore]

## **B5100 SPERIMENTAZIONE DI VOLO**

Anno: 5      Periodo: 2  
Impegno (ore):      lezioni: 64      esercitazioni: 24      (nell'intero periodo)  
Docente:      da nominare

### **PRESENTAZIONE**

Il corso si propone di indicare le problematiche principali della sperimentazione di Volo e approfondire alcuni argomenti connessi con le prove di volo finalizzate ad ottenere indicazioni nel campo delle strutture e della meccanica e della dinamica del volo.

Dopo una parte introduttiva in cui si presentano i metodi, nelle prove di volo, atti alle misure della velocità, della temperatura e dell'angolo di incidenza e si forniscono allo studente le nozioni fondamentali sulle caratteristiche, le problematiche, i possibili errori dei sistemi di misura e dei relativi circuiti di acquisizione, vengono affrontati i campi specifici di interesse nella sperimentazione di volo: le prestazioni di volo in parametri adimensionati, le prove strutturali e sui fenomeni vibratori con particolare riferimento al flutter, le prove ad alta incidenza, i metodi classici per determinare quelle derivate aerodinamiche che intervengono nel moto longitudinale e latero-direzionale.

### **REQUISITI**

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

### **PROGRAMMA**

Il programma dettagliato del corso è di seguito riportato. Sono indicati anche, per ciascun argomento principale del corso, il numero orientativo di ore necessario a svolgere, a lezione, detti argomenti.

Generalità sulle prove di volo. [2 ore]

La definizione del programma di prove volo. I sistemi velivolo. I compiti dell'F.T.I.; progettazione del sistema F.T.I.: requisiti fondamentali.

- Misura della velocità, della temperatura e dell'angolo di incidenza. [14 ore]

L'atmosfera di riferimento; le quote; la riduzione all'atmosfera standard.

Misura della velocità; flusso incompressibile e compressibile; il numero di Mach; operazione di rilievo e misura del numero di Mach.

Velocità rispetto all'aria; velocità equivalente; velocità calibrata; velocità vera. Considerazioni sulla misura della velocità; errore di posizione; taratura del sistema anemometrico: nose boom System, wing boom System, low altitude speed course method, tower flyby method, pacer method, smoke-trail e contrast-trail method, radar altitude reference, trailing devices, trailing-ganemometer. Relazioni dell'errore di posizione; relazioni per la correzione della velocità e della quota. Taratura della sonda di temperatura, determinazione del coefficiente di restituzione del termometro; descrizione ed errori di un trasduttore di TAT. Misura dell'angolo di incidenza e di imbardata e taratura del sistema.

- Sistemi di misura. [20 ore]

Generalità sui sistemi di misura del 1° e del 2° ordine.

Sistemi del 1° ordine; funzionamento tipico; risposta ad una funzione di ingresso di forma armonica. Sistemi del 2° ordine; moto libero; regime forzato permanente con eccitazione sinusoidale; fase iniziale di un moto eccitato sinusoidalmente. Risposta dell'accelerometro nella misura di una accelerazione a gradino; osservazioni sull'influenza dello smorzamento sulle caratteristiche del regime transitorio; caratteristiche peculiari da considerare nella scelta dello strumento di misura; accelerometri a loop aperto e a loop chiuso. Progetto del sistema

di strumentazione. Caratteristiche metrologiche del canale di misura; intervallo di misura, risoluzione, precisione statica, precisione dinamica. Misura della temperatura; tipi di sensori; termometri a resistenza e termocoppie; applicazioni dei trasduttori di temperatura. Misura del flusso di carburante; flussometro a turbina, a orifizio variabile, a momento angolare. Il giroscopio d'assetto; il girometro. Misura di posizione lineare e angolare. Sensori di pressione; tipologia dei trasduttori e loro errori. Le tecniche di acquisizione; gli errori in fase di acquisizione; l'acquisizione di dati dai bus dei sistemi avionici. La registrazione magnetica. La telemetria.

- Determinazione del peso, della posizione del baricentro e dei momenti d'inerzia del velivolo. [6 ore]

Pesatura del velivolo e determinazione della posizione del baricentro a terra nelle diverse configurazioni; metodo di sospensione ad un singolo punto. Determinazione di peso e posizione del baricentro in volo; C.G. diagram. Determinazione dei momenti d'inerzia; metodo delle oscillazioni elastiche su appoggio libero. Determinazione del momento centrifugo e della direzione degli assi principali d'inerzia con il metodo del single-point sospensione double-pendulum.

- Prestazioni di volo in parametri adimensionali e generalizzati. [8 ore]

Caratteristiche di un turbogetto; turbogetto isolato; turbogetto installato sul velivolo in volo. Prestazioni generalizzate di un velivolo; volo orizzontale; caratteristiche di salita. Autonomia oraria e chilometrica.

- Prove strutturali e di flutter. [18 ore]

Rilevamento dei carichi in volo; tecniche di misura dei carichi in volo: estensimetri e pressure plotting. Finalità delle prove; strumentazione necessaria; taratura preventiva; condizioni di volo; elaborazione e presentazione dei dati; manovre in volo. Taratura a terra e rilievo dei carichi. Prove strutturali dinamiche; finalità delle prove. Meccanismo del flutter; calcoli e prove a terra; sperimentazione in volo. Procedure di prova. Strumentazione necessaria. Gli accelerometri per prove di flutter e rilievo di vibrazioni in volo. Tecniche di misura del flutter: decadimento del segnale; eccitazione pulsante; eccitazione armonica; eccitazione variabile in frequenza. Tecniche di eccitazione in volo: superfici di controllo; alette oscillanti; eccitatori inerziali; eccitatori elettrodinamici; congegni pirotecnici.

- Prove di volo ad alta incidenza. [6 ore]

Caratteristiche generali della vite: l'autorotazione; autorotazione definita; gradi di libertà verticale, orizzontale e al beccheggio; le condizioni di equilibrio. Manovre per entrare ed uscire dalla vite. Le condizioni di similitudine. Prove di vite: prove con modelli in galleria del vento e controllati via radio. Prove al vero; considerazioni sulla sicurezza.

Progetto del paracadute antivite.

- Determinazione di derivate aerodinamiche. [16 ore]

Premessa sull'analisi dei moti di piccola perturbazione.

Considerazioni generali sul moto di beccheggio; risposta in frequenza ad una eccitazione di tipo sinusoidale di beccheggio; moto oscillatorio libero di beccheggio a comandi bloccati susseguente ad una eccitazione ad impulso con il comando longitudinale; risposta ad una manovra a gradino; determinazione della risposta in frequenza mediante l'uso della trasformata di Fourier.

Determinazione dei coefficienti di risposta di un velivolo mediante l'uso della trasformata di Laplace e mediante il rilievo dei valori simultanei delle variabili di volo.

Determinazione delle singole derivate aerodinamiche.

Determinazione delle derivate aerodinamiche mediante l'analisi delle equazioni del moto.

Metodi semplificati per la misura di particolari derivate aerodinamiche.

Determinazione delle derivate aerodinamiche di stabilità e di smorzamento col metodo della rappresentazione vettoriale.

Accenno al moto latero-direzionale. Determinazione semplificata della derivata di stabilità direzionale.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Non vi è una predefinita suddivisione tra lezioni ed esercitazioni: le esercitazioni si svolgeranno nel momento in cui l'argomento raggiunto nel programma delle lezioni lo richiederà. Alcune lezioni ed esercitazioni potranno essere tenute come conferenze da persone dell'industria esperte nel campo specifico.

Visita alla Divisione Aeronautica Prove volo dell'Alenia di Caselle.

## BIBLIOGRAFIA

Non esistono libri di testo. Per la consultazione riguardo ad alcune parti del corso si consigliano i seguenti volumi:

B. DICKINSON, Aircraft Stability and Control for Pilots and Engineers, Sir Isaac Pitman & Sons LTD - London.

A. ETKIN, Dynamics of Flight - Stability and Control, John Wiley & Sons, Inc. - New York.

A. LAUSETTI, L'atmosfera in quiete, Ed. Levrotto & Bella, Torino.

D.T. WARD, Introduction to Flight Test Engineering, Elsevier - Amsterdam.

## ESAME

L'esame è costituito da un colloquio su alcuni argomenti a scelta fra quelli del corso, negli appelli fissati secondo il calendario e le regole della Facoltà.

## B5230 STRUMENTAZIONE AERONAUTICA

Anno: 5                      Periodo: 2  
Impegno (ore):    lezioni: 90    esercitazioni: 18    laboratori: 6    (nell'intero periodo)  
Docente:                      **Lorenzo BORELLO**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Scopo del corso è fornire le cognizioni e gli approfondimenti sulla strumentazione aeronautica e in genere sull'avionica indispensabili alla acquisizione ragionata dei loro principi di funzionamento, dei loro problemi di progettazione e costruzione, nonché alla valutazione delle loro prestazioni e del loro comportamento dinamico; tutto ciò è integrato nel contesto del progetto, della produzione e dell'impiego sia degli apparati di bordo che del velivolo completo in termini di sistema finalizzato all'espletamento economico e sicuro di definite missioni.

La tematica progettuale integrata del componente, del sottosistema e del sistema completo è alla base di ogni argomento trattato: pertanto i concetti relativi ai problemi di progettazione e costruzione degli equipaggiamenti (forniti a chiarimento di quanto sopra) sono orientati verso la strutturazione di una mentalità idonea a condurre analisi di sensibilità delle prestazioni ai parametri di progetto, nonché stime di vantaggi e svantaggi conseguibili dalle scelte progettuali stesse. Da quanto sopra riportato si evince una naturale continuità nei confronti del corso di *Impianti aeronautici*, che, se da una parte suggerisce di considerare lo stesso come propedeutico a *Strumentazione aeronautica*, dall'altra richiede, per completezza ed organicità di preparazione, di far seguire quest'ultimo al primo.

Il corso verte su di un certo numero di lezioni supportate da Esercitazioni in aula, in laboratorio di calcolo ed in laboratorio di impianti consistenti nell'analisi dal vero di equipaggiamenti, nell'analisi della documentazione tecnica disponibile, nell'esecuzione di calcoli numerici e nella preparazione e nell'uso di programmi di simulazione su calcolatore relativi a sistemi e componenti significativi.

### REQUISITI

Per un facile approccio alla materia, spiccatamente interdisciplinare, è necessario possedere solidi concetti di Meccanica applicata, termogasdinamica, Meccanica del volo (aspetti statici necessari, aspetti dinamici desiderabili), Elettrotecnica ed Impianti aeronautici.

### PROGRAMMA

- Generalità sul corso ed introduzione. [4 ore]

Concetti di sistema ed apparato aeronautico, impianti ed avionica (comandi e strumentazione). Impianto come erogatore di potenza. Avionica come mezzo di gestione di informazioni e comandi. Generalità sui tipici problemi dell'avionica, dei componenti e dei sottosistemi. Funzioni di controllo di motori ed equipaggiamenti, di pilotaggio, di navigazione.

- Il problema del rapporto uomo - macchina - ambiente in genere. [6 ore]

Identificazione dei canali di interazione tra pilota, velivolo e ambiente (comandi, sensori, sistemi di trasmissione, elaborazione e presentazione dei dati) con particolare attenzione alle funzioni dell'avionica; problematica della presentazione di dati: metodi simbolici, analogici, digitali; relativi vantaggi e svantaggi in termini di rapidità e accuratezza di acquisizione dell'informazione, nonché di probabilità di corretta lettura; soluzioni classiche, HUD, HDD; analisi dei criteri di presentazione delle informazioni funzionali al compito da svolgersi e mirati all'ottenimento di risposte pronte, accurate, affidabili.

- Il rapporto uomo - macchina - ambiente nella funzione di pilotaggio. [10 ore]

Richiami sulla dinamica del volo perturbato del velivolo: cenni sulla deduzione delle equazioni di equilibrio dinamico, sulle soluzioni e sulla conseguente tipologia del moto; conseguente

pilotabilità del velivolo, indici di pilotabilità e loro legami alle caratteristiche dei modi propri perturbati dell'aeromobile; cenni alle cause che possono rendere sgradevole al pilotaggio la dinamica intrinseca della macchina; deduzione logica della concezione e del modo di operare di un aumentatore di stabilità (*inner loop* autopilota), relativi schemi funzionali e caratteristiche.

- Sistemi di navigazione. [10 ore]

Richiami sui concetti di radiotrasmissione; spettro delle lunghezze d'onda e impiego, modulazione, antenne, rumore e capacità di informazione, rapporto segnale/disturbo, banda passante, frequenza di taglio; propagazione onde, ionosfera, guide d'onda; antenne stilo, direttive, a paraboloide, a schiera; sistemi di navigazione *rho-theta*: radiofaro-radiogoniometro, VOR-DME, TACAN; sistemi di navigazione a griglie iperboliche: LORAN, DECCA, OMEGA; sistemi di navigazione satellitare: TRANSIT, GPS; sistemi di atterraggio strumentale: ILS, MLS. Bussola magnetica, tipi ad induzione, problemi e meriti. Autopilota (*outer loop*) e sue funzioni principali di mantenimento assetto, quota o velocità verticale, velocità rispetto all'aria, prua e controlli di navigazione.

- Il rapporto uomo - macchina - ambiente nella funzione di pilotaggio. [10 ore]

Il problema della sensibilità dei comandi primari di volo, sforzi e angoli di barra per g al variare della condizione di volo, valori minimi e massimi raccomandati e rispettive giustificazioni in termini di manovrabilità e controllabilità; andamento temporale degli sforzi nei transitori di ingresso in manovra ed effetti sulla controllabilità e sulla prontezza di risposta; effetti di giochi ed attriti sulla porzione meccanica delle linee di comando; scelte motivate di comandi assistiti, potenziati irreversibili; deduzione ragionata dell'architettura (rigidezza con precarico, *q-feel*, *bob-weight*, *damper*) e del modo di operare di un dispositivo di sensibilità artificiale per comandi primari irreversibili, recenti soluzioni costruttive e caratteristiche.

- Comandi di volo primari e secondari. [12 ore]

Definizioni; requisiti a cui devono rispondere inerenti la pilotabilità, la compatibilità ambientale, le interfacce funzionali, le prestazioni, le caratteristiche di risposta dinamica, i fenomeni aeroelastici; difficoltà connesse al loro soddisfacimento giustificate da specifici problemi fisici dei servomeccanismi di posizione; effetti di saturazioni, giochi, cedevolezza, inerzie, attriti secchi sui sistemi controtoreazionati.

- Comandi di volo [8 ore]

Comportamento elettromeccanico e fluidodinamico (e scelta) di valvole di comando, tipi esistenti (EHV *jet-pipe*, EHV *jet-deflector*, EHV *flapper-nozzle*, DDV), loro caratteristiche funzionali e difficoltà realizzative e di controllo, loro modellizzazioni a diversi livelli di accuratezza a fronte di differenti fenomeni da evidenziarsi; comportamento fluidodinamico-meccanico (e scelta) di motori idraulici lineari e rotativi e curve caratteristiche del gruppo valvola-motore, problemi di stallo, di spunto e di sovravelocità ed eventuali rimedi adottabili.

- Comandi di volo. [8 ore]

Modi di guasto dei componenti, loro effetti, loro criticità e conseguente concezione delle ridondanze al fine di garantire adeguati comportamenti in avaria, nonché nei transitori di guasto; architetture ridondate tipiche di comandi primari, comandi secondari di trim, comandi secondari di ipersostentazione, comandi di motore, ecc.; metodi di monitoraggio; somma in forze, somma in velocità.

- Le misure di dati d'aria. [12 ore]

Pressioni misurate totale e statica, temperatura di recupero, angoli misurati di incidenza e di derapata e conseguenti calcoli di pressioni corrette totale e statica, temperature totale e statica, angoli corretti di incidenza e di derapata, quote barometriche convenzionali, velocità indicata, calibrata, equivalente, vera, numero di Mach, velocità verticale; eventuale necessità di integrare i calcoli suddetti a fini di mutua correzione in un *Air Data System* a mezzo dell'associato *Air Data Computer*; sonde di pressione totale e statica, sonde di temperatura, trasduttori di pressione e di temperatura, indicatori di angoli di incidenza e di derapata, variometri.

- Il riferimento di verticale a bordo di un veicolo in moto vario. [10 ore]  
Piaffeforme stabili e deduzione ragionata delle loro possibili concezioni e degli associati principi di funzionamento e logiche di controllo (classiche o *Schuler-tuned*) dell'asservimento di verticale nell'ambiente operativo costituito dal velivolo navigante e manovrante sul geode rotante; effetti delle imperfezioni costruttive dell'apparato; misura degli angoli di beccheggio e rollio. Generalizzazione del concetto e sua estrapolazione nella realizzazione delle piaffeforme inerziali stabilizzate a sospensione cardanica ed ulteriormente in quella dei navigatori inerziali *strap-down*.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

(In aula e in laboratorio di calcolo)

Sistema di comando di volo elettroidraulico con EHV (servovalvola elettroidraulica a due stadi), martinetto lineare e chiusura di anelli di posizione e velocità; studio ed esame critico del programma di simulazione esistente, nonché suo impiego finalizzato all'analisi degli effetti di tutte le tipiche non-linearità meccaniche presenti, mediante l'ottenimento delle curve di risposta dinamica a differenti ingressi. [4 ore]

Sistema del secondo ordine non-lineare con saturazioni in forza o velocità e in posizione, attriti secchi, ingressi in forza e posizione del telaio di vincolo e uscita in posizione assoluta (analogia a servomeccanismo di posizione) o posizione relativa (analogia ad accelerometro); realizzazione, messa a punto guidata ed impiego del modello matematico e del relativo programma di simulazione dinamica. [6 ore]

Curve caratteristiche meccaniche e fluidodinamiche di un gruppo costituito da valvola di comando e motore idraulico; realizzazione, messa a punto guidata ed impiego del modello matematico e del relativo programma di calcolo. [4 ore]

Picchi di pressione e cavitazioni in un motore idraulico; realizzazione, messa a punto guidata ed impiego del modello matematico e del relativo programma di simulazione dinamica. [4 ore].

Esame di strumenti e servomeccanismi tipici. [6 ore]

## **BIBLIOGRAFIA**

Testi di riferimento:

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

Documentazione fornita durante il corso.

Testi per approfondimenti:

D'Elia, *La strumentazione standard degli aerei moderni*, Masson Italia.

Pallett, *Aircraft instruments*, Pitman.

Kayton, Fried, *Avionics navigation systems*, Wiley.

Savet, *Gyroscopes: theory and design*, McGraw-Hill.

Marro, *Componenti dei sistemi di controllo*, Zanichelli.

Jacazio, Piombo, *Meccanica applicata alle macchine*, Levrotto & Bella.

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

Barabaschi, Tasselli, *Elementi di servomeccanismi e controlli*, Zanichelli.

## **ESAME**

L'esame è condotto oralmente su quesiti concettuali ed applicativi (eventuali esercizi), mediante il possibile impiego dei propri appunti di lezioni ed Esercitazioni (in aula e in laboratorio).

## **BA710      STRUTTURE AEROMISSILISTICHE**

Anno: 2 (SIA)      Periodo: 1  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni: 2      (ore settimanali)  
Docente:      da nominare

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso illustra i fondamenti e le tecniche di risoluzione per alcuni problemi di tipo 'non classico' ed 'advanced' dell'analisi delle strutture. I fondamenti della meccanica dei solidi sono richiamati usando notazioni tensoriali. I modelli mono-, bi- e tri-dimensionali sono sviluppati secondo il procedimento asintotico di Cicala. Sono illustrate alcune tecniche per l'analisi della stabilità in campo statico e dinamico non lineare. Sono presentati risultati relativi a stati di tensione nell'intorno di cricche. E' affrontato il problema della propagazione di onde di tensione. Fra i metodi di discretizzazione è illustrato il metodo degli elementi di contorno BEM. Sono descritti alcuni algoritmi di tipo computazionale adottati in problemi con non linearità, quali plasticità, contatto e stabilità. E' analizzato il problema delle strutture soggette a forti gradienti termici ed è infine trattato il tema del calcolo ottimo.

### **REQUISITI**

Il corso non richiede nozioni propedeutiche aggiuntive a quelle fornite dai corsi obbligatori. Si ritiene comunque utile l'aver seguito altri corsi di tipo strutturale.

### **PROGRAMMA**

#### **1. Equazioni dei continui deformabili (4 ore)..**

Tensore delle tensioni e tensore delle deformazioni. Leggi di comportamento del materiale. Elasticità e plasticità. Grandi spostamenti e grandi rotazioni. Formulazione Euleriana e Lagrangiana. Tensori caratteristici delle diverse formulazioni. Equilibrio e compatibilità.

#### **2. Uso di Equazioni Variazionali (4 ore).**

Forma 'debole' e 'forma forte' di equazioni. Forma agli spostamenti, forma alle forze e forma mista. Funzioni di tensione generalizzate. Uso dei moltiplicatori di Lagrange per la scrittura in forma debole di equazioni di vincolo.

#### **3. Analisi semplificata assiomatica delle strutture (4 ore).**

Riduzione delle incognite nel problema 3D. Strutture bi—dimensionali piane piastre. Strutture bi—dimensionali dotate di curvatura gusci. Modelli classici e non classici.

#### **4. Il metodo di Cicala per l'analisi sistematica delle strutture (10 ore).**

Generalità sui metodi asintotici. Teorie asintotiche per piastre e gusci in campo lineare. Cenni all'applicazione del metodo asintotico a problemi di stabilità di verghe.

#### **5. Problemi di stabilità nelle strutture aerospaziali (6 ore)**

Criteri generali di stabilità. Problemi conservativi statici. Il cilindro compresso: la soluzione di von Karman e Tsien e la soluzione di Cicala. Problemi non conservativi con comportamento regolare. Problemi non conservativi con comportamento caotico.

#### **6. Metodi per l'analisi della frattura (6 ore).**

Calcolo dello stato di tensione in corrispondenza di zone danneggiate. Modo I, modo II e modo III. La meccanica della frattura come problema di stabilità.

#### **7. Problemi di propagazione ondosa nelle strutture (8 ore).**

L'equazione delle onde nei continui deformabili. Onde di tensione longitudinali e flessionali. Soluzioni analitiche e numeriche. Propagazione ondosa in strutture con vincoli variabili nel tempo.

#### **8. Metodi di discretizzazione nelle strutture (8 ore).**

Metodi alle differenze Metodo degli elementi di contorno BEM.

### 9. Classificazione di problemi non lineari e tecniche di risoluzione (10 ore).

Generalità sulle possibili non linearità. Problemi con non linearità geometriche. Problemi con non linearità fisiche. Problemi con condizioni al contorno sconosciute. Cenni a problemi con dinamica non lineare. Risoluzione approssimata di sistemi di equazioni algebriche non lineari. Tecniche per la simulazione del contatto. Tipico algoritmo per problemi di plasticità. Tipico algoritmo per problemi di stabilità. Tipico algoritmo per problemi di contatto. Un caso tipico coinvolgente plasticità, instabilità e contatto.

### 10. Analisi delle strutture in presenza di sollecitazioni termo-meccaniche (6 ore).

Rassegna di problemi strutturali con deformazioni termiche predominanti. Il problema termo-elastico. Calcolo di valori critici dei gradienti termici. Materiali per protezioni termiche. Cenni al controllo termico delle strutture. Studi termici. Ablazione.

### 11. Problemi di ottimo nelle strutture (6 ore)

Generalità sulla ottimizzazione. L'ottimizzazione nelle strutture aerospaziali. Introduzioni di vincoli geometrici, di massa, di temperatura. Equazioni di vincolo e costruzioni di funzionali relativi. Tecniche per il calcolo approssimato delle condizioni di ottimo. Cenni agli algoritmi genetici.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

In una prima parte saranno risolti in aula, alcune problemi relativi agli argomenti presentati nel corso delle lezioni. In una seconda parte, da svolgersi nel laboratorio informatico, verrà chiesto allo studente, individualmente o a gruppo, di risolvere, con l'ausilio di programmi di calcolo, uno o più problemi assegnati dal docente.

## BIBLIOGRAFIA

Appunti forniti dal docente.

## ESAME

L'esame consiste in una prova orale.

## B5330      STRUTTURE AERONAUTICHE

Anno: 5	Periodo: 1		
Impegno (ore):	lezioni: 6	esercitazioni e laboratori: 2	(ore settimanali)
Docente:	<b>Giulio ROMEO</b>		

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di fornire agli allievi, dopo una breve descrizione della tecnologia di produzione delle strutture aeronautiche realizzate in materiale composito, le nozioni fondamentali sul calcolo di elementi di strutture aeronautiche; partendo da "una attenta analisi degli aspetti caratterizzanti il fenomeno fisico, al fine di una trasposizione ragionata di tali aspetti nell'approssimazione numerica", verranno prese in esame sia le teorie classiche sulle strutture a guscio ed a semiguscio realizzate con materiali isotropi ed anisotropi e sia il metodo degli elementi finiti; inoltre, saranno risolti, con le teorie classiche, diversi problemi relativi ai fenomeni nonlineari tipici delle strutture aeronautiche.

### REQUISITI

Per una migliore comprensione del Corso viene richiesta la conoscenza delle seguenti materie:  
Scienza delle costruzioni  
Costruzioni aeronautiche  
Matematica Applicata.

### PROGRAMMA

*Le funzioni della struttura e compiti dell'analisi strutturale.*

Le prescrizioni regolamentari: criteri di rigidità, di robustezza, di elasticità; carichi statici ed a fatica. La sicurezza strutturale.

*Nuovi materiali e nuove tecnologie per una maggiore efficienza energetica di un velivolo.* Confronto delle caratteristiche fisico-meccaniche fra materiali metallici e compositi.

*Tecnologia dei materiali compositi:* produzione delle fibre di carbonio, di boro, di vetro ed aramidiche. Composizione della matrice: resine epossidiche, poliammidiche, termoplastiche, metallica e ceramica.

Lavorazione dei pre-impregnati. Polimerizzazione del composito. Filament winding, Poltrusion, SMC.

Esempi di strutture realizzate in composito: Timone DC-10, %Equilibratore e Timone Boeing B-767, Deriva Lockheed L-1011, Airbus A-310, A-340. Ala ed Impennaggi Harrier AV-8V, Ala ed Impennaggi EFA, ecc.

Risparmio di massa rispetto alle strutture metalliche.

Richiami di *Teoria delle piastre*. Flessione e torsione di un pannello piano isotropo sottile soggetto a carichi laterali, longitudinali, trasversali e di taglio. Studio delle equazioni differenziali di equilibrio del pannello isotropo. Vincoli; condizioni al contorno; funzioni di forma.

Calcolo della deflessione w fuori dal piano, del momento flettente e dello stato di tensione di un generico pannello soggetto a carico trasversale distribuito mediante risoluzione dell'equazione differenziale. Confronti teorici-sperimentali.

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 del laminato:* Teoria classica secondo le ipotesi di Kirchhoff-Love. Rigidità estensionali, di accoppiamento e flessionali di un laminato anisotropo con orientazione arbitraria

delle fibre. Carichi termici ed igroscopici. Stato di tensione e di deformazione nelle singole lamine del generico laminato. Modi di rottura e criteri di rottura di un laminato multistrato. Effetti igrotermici sulla stabilità dimensionale. Limiti di validità della CLT e tensioni interlaminari.

*Studio delle equazioni differenziali di equilibrio di un pannello ortotropo.* Flessione sotto carico trasversale, frequenze e modi di vibrare con diversi tipo di vincolo.

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

*Flesso-torsione della trave;* tensioni correttive in una generica trave per effetto dei vincoli; teoria di Wagner. Instabilità torsionale dei pannelli irrigiditi ed influenza della componente flessio-torsionale.

Interazione fra instabilità torsionale e generale. Ottimizzazione della massa minima di pannelli irrigiditi.

*Metodi energetici nell'analisi statica e dinamica dei pannelli isotropi ed anisotropi.* Principio di stazionarietà dell'energia potenziale totale. Pannelli curvi sandwich: influenza della deformazione a taglio trasversale. Calcolo della deformata di un pannello sandwich soggetto a carico laterale. Carichi critici di un pannello sandwich curvo soggetto a carichi combinati nel piano. Metodo di Galerkin. Carichi critici di un laminato curvo soggetto a carichi combinati nel piano. Laminati tozzi ed influenza del taglio trasversale, con teorie di ordine superiore, sul reale comportamento della struttura.

*Il metodo degli elementi finiti.* Richiami di calcolo matriciale delle strutture: formulazione generale; rigidezza e deformabilità di una trave; matrici di rigidezza di elementi asta e trave (forza concentrata ai nodi o distribuita lungo la lunghezza, e variazione di temperatura), elemento rettilineo nello spazio; costruzione della matrice di rigidezza della struttura, rotazione del sistema di riferimento, imposizione dei vincoli.

Formulazione generale del metodo: identificazione e descrizione di un elemento, scelta funzioni approssimante gli spostamenti, polinomi interpolatori, legame fra spostamento elemento e nodale, relazione deformazioni elemento - spostamenti, relazioni tensioni - deformazioni dell'elemento, carichi nodali equivalenti al campo degli spostamenti, relazione tensione - spostamenti nodali.

%Impostazioni alternative per la soluzione del problema, il metodo del %potenziale, il metodo di Rayleigh-Ritz, il metodo di Galerkin.

Elemento asta.

Elemento trave (di Eulero, di Timoshenko e fenomeno del locking). Elemento piano a 3 - 4 e 8 nodi. Scelta della discretizzazione della struttura. Elemento finito piastra (Kirchhoff e Mindlin). Elemento guscio. Elemento assialsimmetrico (triangolare e rettangolare). Elementi solidi (esaedrico a 8 nodi, tetraedrico a 4 nodi). Elementi assialsimmetrici membrana e guscio.

Formulazione isoparametrica. Stima dell'errore di discretizzazione. Cenni sull'analisi dinamica delle strutture.

*Analisi nonlineare dei pannelli anisotropi* soggetti a compressione biassiale e taglio. Non linearità di tipo geometrico. Funzione di Airy ed equazione di congruenza. Risoluzione con il metodo di Galerkin; deformata fuori dal piano in condizioni di post-buckling sia in controllo di carico sia in controllo di spostamento; effetto delle imperfezioni iniziali.

*Cassoni alari soggetti a flessione:* effetto dei carichi di schiacciamento, conseguenti alla curvatura dell'ala, sulla deformata dei pannelli; limiti dell'analisi lineare; influenza dei termini nonlineari sul comportamento dei pannelli soggetti a compressione uniassiale e carico laterale. Determinazione della deflessione fuori dal piano; stato di tensione degli elementi del pannello.

*Cassoni alari soggetti a torsione:* effetto della tensione diagonale parziale sulla rigidezza torsionale del cassone; applicazione del PLV e della stazionarietà dell'EPT per il calcolo dell'angolo

delle direzioni principali di sollecitazione e del modulo elastico tangenziale del pannello in campo di tensione diagonale, per il calcolo del comportamento reale. Analisi in post-buckling dei pannelli a taglio lavoranti in campo di tensione diagonale parziale; influenza della deformata del pannello sulla rigidezza a torsione del cassone.

*Progettazione delle giunzioni meccaniche e per incollaggio* nelle strutture in composito. Collegamenti meccanici: comportamento sotto carico dei giunti, rottura per strappamento, ovalizzazione, a taglio, effetto della distanza dal bordo libero; influenza della coppia di serraggio sul comportamento statico e a fatica della giunzione.

Giunzioni per incollaggio; tipologia; criteri di progetto; stato di sollecitazione dell'adesivo e degli aderenti; effetto della plasticità dell'adesivo; effetto del trattamento superficiale degli aderenti.

*Concentrazioni di tensioni nei pannelli anisotropi* sul contorno di un foro circolare, ellittico, rettangolare o quadrato. Teoria di Lekhnitskii: equazioni di equilibrio e di congruenza, funzioni di Airy, radici complesse; fattore di correzione per tener conto delle dimensioni finite del pannello.

*Analisi sperimentale di strutture* alari metalliche ed in composito soggette a taglio, flessione, torsione. Cassoni alari soggetti a flessione pura o torsione. Pannelli sandwich o laminati solidi o pannelli irrigiditi soggetti a compressione uni e biassiale e taglio.

Pannelli con fori rettangolari soggetti a trazione/compressione uni e biassiale e taglio. Strutture reticolari soggette a taglio e flessione. Strutture incollate. Strutture soggette a carichi igrotermici. Strutture con danno da impatto soggette a fatica. Travi a sezioni a C soggette a flessione-torsione.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Proiezione filmato su prove in volo di: veicolo spaziale DC-X DELTA CLIPPER, B-1, B-2, U-2, SR-71 Blackbird, STEALTH F-117, ecc.; filmato sulla realizzazione ed assemblaggio B-777; realizzazione e prove in volo del velivolo ad energia solare SOLAR CHALLENGER.

Determinazione teorica delle caratteristiche meccaniche del composito, note che siano quelle dei due costituenti il materiale e la loro percentuale in volume.

Determinazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche di provini in composito: Estensimetria elettrica e prove di rottura a trazione o flessione su provini.

Determinazione teorica-sperimentale delle rigidezze estensionali, di accoppiamento e flessionali di un laminato anisotropo con orientazione arbitraria delle fibre. Carichi igrotermici. Stato di tensione e di deformazione nelle singole lamine del generico laminato. Verifica dei criteri di rottura di un laminato multistrato. Determinazione e verifica sperimentale dei carichi di rottura.

Verifica dei carichi critici dei pannelli irrigiditi ad I in grafite/epoxy: generale, torsionale e locale (rivestimento e corrente).

Determinazione delle tensioni correttive in una trave con sezione a Z soggetta a torsione ed influenza della componente flessione-torsionale.

Analisi lineare e nonlineare dei pannelli anisotropi soggetti a compressione biassiale e taglio; deformata in condizioni di post-buckling; effetto delle imperfezioni iniziali. Metodo di Southwell; shadow-Moiré e trasduttori induttivi per la determinazione della deflessione del pannello.

Analisi nonlineare dei pannelli anisotropi soggetti a compressione uniassiale e carico laterale.

Modellizzazione agli ELEMENTI FINITI (F.E.M.) di diversi elementi strutturali aeronautici in materiale composito (strutture reticolari, pannelli forati, pannelli irrigiditi, intera struttura alare); dal modello all'analisi tramite pre- e post-processing MSC/PATRAN - NASTRAN.

a) Creazione del modello geometrico (CAD MODEL):

b) Creazione modello geometrico della struttura o tramite programmi di disegno (tipo CAD) capaci di generare file importabili in PATRAN (IGES) oppure direttamente dal PATRAN stesso nella sezione adibita a questo scopo.

c) Creazione del modello da analizzare (FEM MODEL):

Schematizzazione agli elementi finiti (MESH) del modello CAD; scelta degli elementi finiti

adatti (aste, travi, piastre, solidi) per la MESH (nodi, elementi), attribuendo ad ogni elemento le proprietà e le caratteristiche del materiale.

d) Assegnazione dei carichi e delle condizioni di vincolo per l'esecuzione dell'analisi.

e) Analisi:

Scelta del codice specifico di soluzione, procedura e parametri (Analisi Lineare Statica, Modale, Buckling, risposta in frequenza, Aeroelastica, Termica, transitori,...).

Esportazione del file pronto, dalla compilazione PATRAN, per l'analisi NASTRAN, e viceversa, importazione nel modellatore PATRAN, dei risultati generati, per la visualizzazione e il controllo.

f) Visualizzazione dei risultati dell'analisi (stati di tensione e di deformazione, spostamenti, frequenze proprie, stress termici) negli elementi caratterizzanti la struttura sotto l'azione dei carichi imposti.

Programma delle esercitazioni sperimentali in laboratorio

Realizzazione di elementi di strutture aeronautiche (cassone alare, fusoliera) in materiale composito grafite/epoxy a seconda delle tesi di laurea in corso nel Dipartimento.

Prove sperimentali di compressione biassiale e taglio su pannelli lisci, forati, di flesso/torsione su cassone alare e fusoliera in grafite/epoxy a seconda delle tesi di laurea in corso nel Dipartimento.

## **BIBLIOGRAFIA**

Per la parte tecnologica vengono fornite delle dispense, redatte dal docente.

Per la parte teorica si farà riferimento ad argomenti che vengono trattati nei seguenti testi:

R.H. JONES, "Mechanics of Composite Materials", McGraw-Hill.

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

S.P. TIMOSHENKO, J.M. GERE, "Theory of Elastic Stability", McGraw-Hill.

J.M. WHITNEY, "Structural Analysis of Laminated Anisotropic Plates", Technomic.

G. BELINGARDI, "Il metodo degli elementi finiti nella progettazione meccanica", Livrotto & Bella.

G. ROMEO, G. FRULLA, Pubblicazioni varie su Analisi nonlineare, Pannelli Irrigiditi, Cassoni a Flessione, Cassoni a Torsione,

## **ESAME**

Gli studenti, per accedere agli esami, dovranno consegnare, almeno 3 giorni prima dell'appello ufficiale un elaborato scritto sugli argomenti trattati nelle esercitazioni.

L'esame consiste in una discussione orale sugli argomenti trattati nel Corso.

Modalità di contatto con il docente

Recapito: Dip. di Ingegneria Aeronautica e Spaziale, I piano, Tel. 564.6820.

Orario di ricevimento: da Lunedì a Venerdì: 9-13.30/14.30-17.30 su appuntamento.

## **B5370      STRUTTURE SPAZIALI**

Anno: 2 (SIA)	Periodo: 1		
Impegno (ore):	lezioni: 6	esercitazioni e laboratori: 2	(ore settimanali)
Docente:	da nominare		

### **PRESENTAZIONE**

Questo è un corso specialistico che si propone di approfondire le tematiche salienti nell'analisi delle strutture spaziali.

Vengono discussi i fenomeni fisici e gli strumenti di previsione del comportamento di tali strutture, analitici e numerici, utilizzati in ambito industriale.

Gli argomenti analizzati riguardano lo stato tensionale, la stabilità e le problematiche del controllo. Tra queste ultime sono comprese quelle del moderno controllo attivo con sensori ed attuatori diffusi.

In tale ambito, un ampio spazio è riservato all'analisi di elementi strutturali in materiale composito, analizzando vari modelli piastra e guscio e comparandone le prestazioni.

Particolare enfasi viene data al metodo degli elementi finiti e all'uso fattone nell'analisi della stabilità.

Sono discusse le principali caratteristiche di alcuni dei più diffusi codici commerciali agli elementi finiti in uso presso l'industria spaziale e comparate le prestazioni.

### **REQUISITI**

Sono utilizzate nozioni fornite nei corsi di Analisi Matematica, Matematica applicata, Costruzioni Aeronautiche e Strutture Aeronautiche. Vengono comunque effettuati richiami per gli argomenti che formano la base da cui si sviluppa il corso.

### **PROGRAMMA**

- *Inquadramento dell'analisi delle strutture spaziali [4 ore].*

Architettura degli elementi strutturali e loro funzioni. Aspetti peculiari del loro comportamento. Pertinenze e obiettivi dell'analisi strutturale.

- *Metodi approssimati per la soluzione dei problemi di analisi strutturale [11 ore].*

Modellizzazione dei problemi strutturali: caratteristiche dei problemi di risposta, di stabilità, dinamici e formulazione di modelli lineari e nonlineari idonei. Ricerca di soluzioni analitiche con il metodo dei residui pesati e sue particolarizzazioni: metodo delle collocazioni, metodo dei sottodomini, metodo di Petrov-Galerkin e metodo di Galerkin.

Suddivisione in sottodomini.

Richiami di analisi funzionale: funzionali, condizioni di estremo, equazioni di Eulero.

Soluzioni analitiche mediante il metodo variazionale di Rayleigh-Ritz.

Condizioni di equivalenza dei metodi di Rayleigh-Ritz e di Galerkin.

- *Modellizzazione di piastre e gusci anisotropi [10 ore].*

Tematiche sulla modellizzazione delle piastre e dei gusci deformabili al taglio trasversale. Cinematica della deformazione della normale e prestazioni ottenibili. Modelli classici (smear-laminata) e modelli moderni (layerwise):

campi di applicabilità e confronto delle prestazioni.

Studio di vari problemi di interesse ingegneristico, relativi a piastre e gusci multistrato, risolti per via analitica confrontando vari modelli.

- *Formulazione di elementi finiti deformabili a taglio trasversale [20 ore].*

Implementazione all'interno di modellizzazioni agli elementi finiti dei modelli piastra e guscio sviluppati in precedenza.

Discussione dei pregi e dei difetti delle formulazioni agli elementi finiti basate su approcci agli spostamenti, alle forze e misti.

Disamina dettagliata di formulazioni agli spostamenti. Requisiti di conformità e scelta delle funzioni di forma.

Peculiarità dell'analisi nonlineare mediante elementi finiti.

Sviluppo delle matrici di rigidezza, di rigidezza tangente, delle masse e del vettore dei carichi esterni dell'elemento deformabile al taglio trasversale.

Assemblaggio.

Comparazione delle prestazioni di vari elementi deformabili a taglio nell'analisi del comportamento pre-critico, critico, post-critico e del comportamento dinamico di piastre e gusci multistrato variamente vincolati e caricati. Correlazione tra la cinematica della deformazione della normale ed i gradi di libertà nodali, con le prestazioni ottenute. Problematiche nella definizione della modellizzazione.

- *Aspetti computazionali della stabilità [20 ore]*

Classificazione dei tipi di comportamento al punto critico. Problemi di stabilità come problemi di autovalori, o come problemi di risposta e relativa implementazione numerica. Approccio analitico perturbativo di Koiter ed analisi di sensibilità alle imperfezioni di forma con il B-Method.

Applicazione all'analisi di gusci nervati imperfetti della metodologia di Arbocz. Soluzione dei problemi di pre-buckling, buckling e post-buckling di gusci imperfetti mediante metodologie di shooting.

Approcci continuativi nella soluzione agli elementi finiti: aspetti salienti ed esame critico delle metodologie path-followers.

Parametrizzazione adattiva.

Applicazione all'analisi di stabilità di gusci multistrato anisotropi. Esame critico delle metodologie in uso nei più diffusi codici commerciali (Nastran, Abaqus) e in codici specifici per l'analisi di stabilità (Stags) e comparazione delle prestazioni.

- *Problematiche di controllo delle strutture [ore 15].*

Generalità e obiettivi del controllo. Identificazione di sistemi di controllo specifici per le strutture. Sistemi strutturali dinamici soggetti a controllo: classificazione formale, equazioni comportamentali, schemi a blocchi, funzioni di trasferimento. Forme di rappresentazione e metodologie di controllo classico. Metodo diretto di Liapunov nell'analisi di stabilità dei sistemi. Controllo moderno: indice di merito quadratico ed equazione di Riccati per il progetto di sistemi con controllo ottimo.

Introduzione al controllo mediante sensori ed attuatori diffusi.

Modellizzazione di sensori ed attuatori piezoelettrici.

Problematiche ed esempi applicativi nel controllo delle deformate, della stabilità statica, del comportamento vibrazionale e dello stato tensionale di elementi multistrato accoppiati con attuatori e sensori piezoelettrici.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Numerosi esempi applicativi vengono proposti durante le lezioni per meglio chiarire i concetti esposti. Al termine di ognuno degli argomenti trattati viene fatta una esercitazione, da svolgersi sotto la guida del docente in aula, o presso i laboratori informatico e strutturale del Dipartimento allo scopo di applicare i concetti e le metodologie visti a lezione a casi di interesse ingegneristico e di familiarizzare con strumenti di calcolo in uso presso le industrie aerospaziali.

*Esercitazioni in aula.*

Esercitazione N. 1. Soluzione approssimata di problemi di analisi strutturale mediante il metodo dei residui pesati.

Esercitazione N. 2. Soluzione del problema di stabilità di gusci cilindrici irrigiditi ed imperfetti mediante un approccio perturbativo.

Esercitazione N. 3. Applicazione delle metodologie di controllo ad una trave incastrata vibrante.

### Esercitazioni in laboratorio

Esercitazione N. 1. Soluzione del problema di stabilità di un guscio cilindrico irrigidito, con imperfezioni di forma, mediante codici agli elementi finiti.

(Numero ore:6)

Esercitazione N. 2. Prove di laboratorio sugli effetti dell'uso di circuiti di controllo passivo nello smorzamento delle vibrazioni di una trave incastrata accoppiata con sensori ed attuatori piezoelettrici.

(Numero ore:4)

### BIBLIOGRAFIA

Appunti forniti dal docente e pagine tratte dai seguenti testi

#### TESTI PER APROFONDIMENTI

Knops R. J.; Wilkes E. W., "Theory of elastic stability." *Handbook of physics*, VIa, Vol.3, Springer Verlag ed.,(1973).

Koiter W. T., *Elastic Stability, Buckling and Postbuckling*, Carlson D.E.; Shield R. T. eds., The Hague, (1981).

Seydel R., *From Equilibrium to Chaos: Practical Bifurcation and Stability Analysis*, Elsevier Science Publ., (1988).

Zienkiewicz, O.M.; Taylor, R.L., *The Finite Element Method*, Fourth Edition, McGraw-Hill, New York, (1994).

D'Azzo J.J.; Houpis C.H., *Linear Control System Analysis and Design - Conventional and modern*, McGraw-Hill Book Company, N.Y., (1988)

### ESAME

L'esame consta di un colloquio con gli allievi.

### BIBLIOGRAFIA

Dispense redatte dal docente.

### ESAME

L'esame consiste in un colloquio orale.

## **B5640      TECNOLOGIA MECCANICA**

Anno: 5                      Periodo: 2  
Impegno (ore):      lezioni: 50      esercitazioni: 40      laboratori: 10      (nell'intero periodo)  
Docente:                      **Francesco SPIRITO**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

### **REQUISITI**

Comprensione di un disegno tecnico, nozioni sulle caratteristiche dei materiali metallici, elementi di scienza delle costruzioni.

### **PROGRAMMA**

La prima parte del corso ha carattere prevalentemente propedeutico e fornisce un'ampia panoramica dei principali elementi componenti la macchina utensile; vengono inoltre 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 esaminano i sistemi integrati di produzione ed il CAM.

Vengono inoltre trattate le lavorazioni per deformazione plastica, considerate mezzo per l'ottenimento di semilavorati per le lavorazioni ad asportazione di truciolo.

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

Si esaminano inoltre le problematiche connesse all'insieme di più macchine utensili in un flusso di produzione al fine di minimizzare i tempi non operativi.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Stesura di cicli di lavorazione.

Analisi delle principali macchine universali.

Ottimizzazione flusso di produzione.

Visione delle principali macchine utensili.

Prove tecnologiche.

### **BIBLIOGRAFIA**

R. Ippolito, *Appunti di Tecnologia Meccanica*, Levrotto & Bella, Torino.

## **B5930      TEORIA MATEMATICA DEI CONTROLLI**

Anno: 3                      Periodo: 2  
Impegno (ore):      lezioni: 6      esercitazioni: 2      (ore settimanali)  
Docente:                      *da nominare*

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Nella progettazione, l'ingegnere deve prevedere, di regola, dispositivi di tipo meccanico o elettronico capaci di regolare in modo automatico o manuale il funzionamento ottimale dell'impianto. I modelli che si elaborano a tale scopo si dicono sistemi di controllo. Il corso fornisce le basi matematiche necessarie alla teoria dei sistemi di controllo e alle sue applicazioni. Argomenti principali del corso sono la trasformata di Laplace, la stabilità, il calcolo delle variazioni e il controllo ottimo.

### **REQUISITI**

Il contenuto essenzialmente matematico del corso richiede, quali conoscenze propedeutiche, quelle fornite nei corsi di Analisi matematica 1 e 2, Geometria e Meccanica razionale.

### **PROGRAMMA**

- Introduzione ai sistemi di controllo

Nozioni generali, l'operatore ingresso-uscita, la nozione di stato, esempi; [4 ore]

- Complementi di Analisi e Geometria

Equazioni differenziali (esistenza di soluzioni locali, unicità delle soluzioni locali, soluzioni massimali, soluzioni globali, soluzioni derivabili a tratti; [4 ore] Algebra lineare (spazi vettoriali, applicazioni lineari, matrici autovalori, autovettori, forma di Jordan; [4 ore]

- Sistemi di equazioni lineari

Equivalenza lineare, calcolo della matrice esponenziale, stima asintotica delle soluzioni, sistemi non omogenei, equazioni scalari di ordine  $n > 1$ , matrice compagna; [6 ore]

- Sistemi autonomi e teoria della stabilità

Gruppo ad un parametro, classificazione delle traiettorie, sistemi piani lineari e nonlineari. Il metodo di Liapunov nello studio della stabilità dei punti di equilibrio, stabilità locale e globale. Sistemi lineari e funzioni di Liapunov quadratiche, stabilità in prima approssimazione, criterio di Routh-Hurwitz; [16 ore]

- Calcolo delle variazioni

Estremanti forti e deboli, l'equazione di Eulero, estremali spezzate, l'interpretazione Hamiltoniana, condizioni di Legendre, condizioni di trasversalità, estremi vincolati; [20 ore]

- Proprietà strutturali dei sistemi con ingressi

Controllabilità, osservabilità. L'insieme raggiungibile per i sistemi lineari, l'equivalenza lineare e la forma di Kalman, l'equivalenza feedback, stabilizzabilità; [14 ore]

- Controllo ottimo

Principio di massimo di Pontrjagin, problema del tempo minimo, problema del regolatore lineare quadratico; [16 ore]

### **BIBLIOGRAFIA**

Dispense redatte dal docente.

### **ESAME**

L'esame consiste in un colloquio orale.

**B0231 ANALISI MATEMATICA I**

Vedi programma del corso di Torino

**B0232 ANALISI MATEMATICA II**

Vedi programma del corso di Torino

**B0620 CHIMICA**

Vedi programma del corso di Torino

**B1420 DISEGNO TECNICO AEROSPAZIALE**

Vedi programma del corso di Torino

# PROGRAMMI DEI CORSI ATTIVATI A MONDOVÌ

## **B0231 ANALISI MATEMATICA I**

Vedi programma del corso di Torino

## **B0232 ANALISI MATEMATICA II**

Vedi programma del corso di Torino

## **B0620 CHIMICA**

Vedi programma del corso di Torino

## **B1420 DISEGNO TECNICO AEROSPAZIALE**

Vedi programma del corso di Torino

Anno: 2                      Periodo: 1  
Impegno (ore):            lezioni: 6            esercitazioni: 2            (ore settimanali)  
Docente:                    **Maurizio REPETTO**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso comprende la trattazione di fenomeni elettrici e magnetici a bassa frequenza con particolare attenzione all'utilizzo dell'energia elettrica all'interno delle installazioni di tipo civile ed industriale.

### **REQUISITI**

Analisi Matematica I e II, Fisica I e II.

### **PROGRAMMA**

#### *- Prima parte: circuiti*

Modello circuitale dei fenomeni elettromagnetici, ipotesi fondamentale del modello circuitale, definizione di componente e classificazione dei componenti ideali, cenni ai componenti reali, leggi dei circuiti.

Teoremi di rete: teorema di sovrapposizione, teoremi dei circuiti equivalenti di Thevenin e di Norton, teorema di Millmann, trasformazioni energetiche nei circuiti e teorema di Tellegen.

Evoluzione dei circuiti nel tempo delle reti lineari tempo invarianti, richiami alla soluzione delle equazioni differenziali a coefficienti costanti, nozione di transitorio e regime, transitori nei circuiti del primo ordine, carica del condensatore e dell'induttore.

Regime sinusoidale, metodo simbolico, impedenza ed ammettenza, diagrammi vettoriali, fenomeno della risonanza ed antirisonanza, potenza nei circuiti in regime sinusoidale, potenza attiva e reattiva, rifasamento, tariffazione, correnti di corto circuito.

Sistema trifase, definizioni, generatori e carichi trifase, collegamenti a stella e triangolo, metodi di soluzione di circuiti trifase equilibrati e non, misura della potenza.

#### *- Seconda parte: campi*

Campo di corrente, resistenza, dispersori di terra.

Campo magnetico statico e lentamente variabile, circuiti magnetici, riluttanza ed induttanza, mutua induttanza, energia nei circuiti magnetici lineari e nonlineari, induzione elettromagnetica trasformatorica e mozionale, perdite nel ferro.

#### *- Terza parte: macchine elettriche*

Trasformatore monofase, trasformatore ideale e circuito equivalente del trasformatore reale, prova a vuoto ed in corto circuito, determinazione dei parametri di macchina, parallelo di trasformatori, trasformatori trifase, gruppo orario.

Motore ad induzione, principio di funzionamento, caratteristica di coppia, problemi di avviamento. Macchina sincrona: principio di funzionamento, alternatore, parallelo su rete.

#### *- Quarta Parte: impianti elettrici*

Quadro normativo: enti normatori e norme di riferimento per gli impianti ad uso civile.

Classificazione utenze elettriche, tipologie di impianto, carichi convenzionali.

Dimensionamento condutture, tipologie di posa, dimensionamento termico.

Protezioni negli impianti: protezioni meccaniche, protezioni contro le sovracorrenti, protezioni contro gli incendi, protezioni contro le sovratensioni di origine atmosferica.

Sicurezza elettrica delle persone: effetti della corrente elettrica sul corpo umano, contatti diretti ed indiretti, impianti di terra, stato del neutro, interruttore differenziale, sistemi a tensione ridotta.

Impianti elettrici in luoghi speciali.

## BIBLIOGRAFIA

F. Ciampolini "Fondamenti di Elettrotecnica" Ed. Pitagora, Bologna.

## MODALITA' DI ESAME

L'esame e' composto da una prova scritta e da un colloquio. Il superamento della prova scritta e' vincolante per l'ammissione all'orale. La prova scritta comprende tre esercizi sulle parti del corso per la cui soluzione e' possibile la consultazione di testi ed appunti. La presa visione del testo di esame comporta la registrazione del verbale di esame. Il risultato della prova scritta e' valido entro la prima tornata di esami orali.

## ESAME

Il corso e' articolato in due parti: una di base e una di approfondimento. La parte di base e' articolata in tre moduli: Algebra, Geometria e Meccanica. La parte di approfondimento e' articolata in due moduli: Elettrotecnica e Elettromagnetismo.

## B1901 FISICA GENERALE I

Vedi programma del corso di Torino

## B1902 FISICA GENERALE II

Vedi programma del corso di Torino

## B2170 FONDAMENTI DI INFORMÁTICA

Vedi programma del corso di Torino

## B3370

## MECCANICA RAZIONALE

Il corso e' articolato in due parti: una di base e una di approfondimento. La parte di base e' articolata in due moduli: Meccanica Razionale e Meccanica Applicata. La parte di approfondimento e' articolata in due moduli: Meccanica Razionale e Meccanica Applicata.

## BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:  
Greco, V. "Algebra Lineare e Geometria",  
Vol. I "Algebra lineare",  
Vol. II "Geometria Analitica e Differenziale", Levrotto & Bella, Torino.  
Testo consigliato:  
A. Santini "Lezioni di Geometria", Levrotto & Bella, Torino.

Anno: 1

Periodo: 2

Docente:

Giannina BECCARI

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si articola in 6 ore settimanali di lezione e 4 ore settimanali di esercitazione di cui 2 ore a corso riunito, relative a problemi generali tecniche standard di soluzione, eventuali complementi, 2 ore a squadre separate dedicate a problemi di tipo specifico e applicazioni.

**PROGRAMMA**

- Numeri complessivi: operazioni, rappresentazione trigonometrica, radici  $n$ -esime.
- Polinomi ed equazioni algebriche in campo reale e complesso: radici, decomposizione di polinomi in fattori irriducibili.
- Vettori del piano e dello spazio: operazioni, componenti, prodotto scalare, vettoriale, misto
- Spazi vettoriali: proprietà elementari, sottospazi, somme intersezioni di sottospazi, dipendenza lineare, insiemi di generatori, basi, dimensione.
- Matrici: operazioni, invertibilità, rango, determinanti.
- Sistemi lineari: Teorema di Rouchè-Capelli, metodi di risoluzione, sistemi ad incognite vettoriali, matrice inversa.
- Applicazioni lineari: definizioni e proprietà elementari, nucleo e immagine, suriettività, iniettività, applicazione inversa, applicazioni lineari e matrici, matrici simili, cambiamenti di base.
- Autovalori e autovettori: polinomio caratteristico, autospazi, endomorfismi semplici, matrici diagonalizzabili.
- Forma canonica di Jordan: teorema di Cayley-Hamilton e polinomio minimo, endomorfismi e matrici nilpotenti, matrici diagonali a blocchi autospazi generalizzati, forma canonica di Jordan.
- Spazi con prodotto scalare: basi ortonormali, endomorfismi autoaggiunti, matrici simmetriche reali e forme quadratiche.
- Coordinate cartesiane nel piano e nello spazio. Cambiamenti di riferimento cartesiani. Coordinate polari nel piano.
- Rette e circonferenze nel piano.
- Coniche in forma canonica e generale.
- Rette e piani nello spazio.
- Sfere e circonferenze.
- Quadriche (in forma canonica)
- Superfici nello spazio: coni, cilindri, superfici di rotazione
- Curve nello spazio e curve piane
- Curve regolari e biregolari: versori tangente, normale, binormale, piano osculatore, elica circolare

**BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento:

Greco, P. Valabrega "Lezioni di Algebra Lineare e Geometria",

Vol. I "Algebra lineare",

Vol. II "Geometria Analitica e Differenziale", Levrotto & Bella, Torino

Testo consigliato:

A. Sanini "Lezioni di Geometria", Levrotto & Bella, Torino

Libri di esercizi adatti al Corso:

S.Greco, P.Valabrega "Esercizi risolti di Algebra Lineare, Geometria Analitica e Differenziale", Levrotto & Bella, Torino

A.Sanini "Esercizi di Geometria", Levrotto & Bella, Torino

Chiarli, S.Greco, P.Valabrega, "100 Esercizi di Algebra Lineare", Levrotto & Bella, Torino

N.Chiarli, S.Greco, P.Valabrega, "Esercizi di Geometria analitica piana e numeri complessi" Levrotto & Bella

Chiarli, S.Greco, P.Valabrega, "100 Esercizi di Geometria spaziale" Levrotto & Bella, Torino

G.Tedeschi, "Test di Geometria risolti", Esculapio, Bologna

G.Cervelli, A.Di Lello, "Geometria: Esercizi risolti", CLUT, Torino

## ESAME

L'esame è costituito da una prova scritta, consistente nella risoluzione di esercizi, e da una prova orale.

Possono accedere all'orale gli studenti che nella prova scritta abbiano riportato una votazione non inferiore a 15/30. In sede di prova orale non è esclusa la richiesta di svolgimento di esercizi, ad eventuale completamento dello scritto. Al termine di ciascuna prova scritta il docente eseguirà alla lavagna lo svolgimento del compito, dopodiché sarà possibile ritirare l'elaborato consegnato, ottenendo la restituzione dello statino.

Nel corso del semestre verranno effettuate due prove di esonero (test a risposta multipla), e precisamente: una prima prova alla fine di aprile riguardante i numeri complessivi e l'algebra lineare, e una seconda, alla fine del corso, riguardante la rimanente parte del programma. Gli studenti che riporteranno in ciascuna prova una votazione non inferiore a 14/30 potranno non sostenere la prova scritta tradizionale e presentarsi direttamente all'orale. Si potrà usufruire di tale possibilità una volta negli appelli di giugno-luglio e una volta negli appelli di settembre.

Per poter sostenere l'esame è necessaria una prenotazione, che verrà effettuata consegnando lo statino alla Segreteria di Mondovì.

L'esame si intende iniziato con la consegna della prova scritta (o con l'inizio della prova, per gli studenti che abbiano superato le prove di esonero).

Per quanto non precisato, fanno fede le norme generali della Facoltà di Ingegneria.

## B3370 MECCANICA RAZIONALE

Vedi programma del corso di Torino

## **B4620 SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI AERONAUTICI ED AEROSPAZIALI**

Anno: 2                      Periodo: 2  
Impegno (ore):            lezioni: 80            esercitazioni: 10            laboratori: 20            (nell'intero periodo)  
Docente:                    da nominare

---

### **PRESENTAZIONE**

Il corso si propone innanzi tutto di fornire una cultura tecnico-scientifica di base, con particolare enfasi alle correlazioni esistenti tra struttura, microstruttura e prestazione di un materiale, sottolineando quindi le potenzialità di progettazione con vecchi e nuovi materiali attraverso un controllo della loro proprietà microstrutturali.. Segue una trattazione sistematica dei materiali per costruzioni aeronautiche ed aerospaziali, suddivisi nelle 4 categorie, metalli, ceramici, materie plastiche, compositi, con una sintetica descrizione delle più comuni tecnologie di trasformazione.

### **PROGRAMMA**

Classificazione dei materiali; Criteri di scelta: tecnici, industriali, economici e socioeconomici. Il legame chimico; curve di Condon-Morse. Organizzazione dei solidi; solidi cristallini ed amorfi. Strutture cristalline. Imperfezioni nei solidi. La diffusione allo stato solido e la legge di Fick. Diagrammi di stato: sistemi a uno, due e tre componenti. Influenza del tempo sulle trasformazioni di fase: diagrammi TTT e CCT. Trasformazioni senza diffusione. Proprietà dei materiali. Proprietà meccaniche: sollecitazioni e deformazioni. Legge di Hooke; modulo di Young. Prove statiche e dinamiche sui materiali (trazione, compressione, flessione, prova d'urto, etc.). Concetto di resistenza specifica. Duttilità e fragilità: definizione della tenacità a frattura. Possibilità di modificare le proprietà dei materiali. Influenza del tempo e della temperatura: la fatica e lo scorrimento viscoso. Viscoelasticità e viscoplasticità. Proprietà termiche: dilatazione termica, resistenza agli shock termici.

Materiali metallici. Leghe Fe-C. Influenza della composizione e dei trattamenti termici sulle proprietà. Tecnologie di formatura. Classificazione ed applicazioni degli acciai. Acciai inossidabili. Leghe non ferrose. Le leghe leggere; leghe di alluminio, magnesio, titanio. Le superleghe. Tecniche di elaborazione e formatura: solidificazione rapida; metallurgia delle polveri; deformazione superplastica; "diffusion bonding"; solidificazione direzionale e monocristallina; alligazione meccanica; materiali rinforzati per dispersione di ossidi; cenno ai compositi a matrice metallica ed alle leghe intermetalliche. Sviluppo del disegno, della composizione e delle tecniche di formatura di pale per turbina.

I materiali ceramici: classificazione. Le polveri ceramiche. Le tecniche di formatura. La sinterizzazione. Vetri: tecnologie di fabbricazione e proprietà. Vetroceramici. I refrattari di alta tecnologia. Descrittiva di alcuni ceramici ingegneristici (allumina, zirconia, nitruro e carburo di silicio). I rivestimenti ceramici (Thermal Barrier Coatings).

I materiali polimerici. Cenni alle tecniche di polimerizzazione. Termoplastici, termoindurenti, elastomeri. Temperatura di transizione vetrosa. Comportamento meccanico. Comportamento elastomerico e vulcanizzazione. Tecniche di formatura. Degrado dei materiali polimerici.

Materiali compositi: classificazione; tipi di rinforzi e di matrici. Fibre di vetro, aramidiche, di boro, di carbonio: Metodi di produzione e proprietà. Matrici, essenzialmente polimeriche (poliestere, poliammide, epossidica, polimmidica, etc.). Metodi di elaborazione dei compositi; compositi strutturali, laminati ed a sandwich.

Cenni ai combustibili ed alle interazioni con i materiali di contenimento.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni sono parzialmente di calcolo in aula, ma principalmente applicative presso il laboratorio informatico, grazie all'ausilio di programmi interattivi che permettono la simulazione di molti degli aspetti teorici ed applicativi oggetto del corso, nonché autoverifiche di apprendimento periodiche. Sono prevedibili anche esercitazioni guidate di laboratorio sulla caratterizzazione meccanica dei materiali, da svolgersi presso il lab. Materiali del Dip. Scienza dei Materiali ed Ingegneria Chimica.

## **BIBLIOGRAFIA**

M.F. Ashby, D.R.H. Jones "Engineering Materials; an introduction to microstructures, processing and design" vol. 1 e 2; Pergamon Press (1986)

W.D. Callister "Materials Science & engineering: an introduction", Wiley, New York (1991)

AIMAT, Manuale di ingegneria dei Materiali, Mc Graw Hill (1996)

## **ESAME**

Esonero scritto in corso d'anno ed esame orale a fine anno.

## UM013 IL CONCETTO DI SIMMETRIA DALL'ANTICHITÀ A OGGI

Periodo didattico: 2

Docente: Tullio REGGE

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso è incentrato sul concetto di simmetria. L'idea non è assolutamente quella di fare un corso monografico e astratto basato su formule, ma piuttosto quello di seguire le orme di Hermann Weyl, un grande matematico che ha scritto un testo classico sull'argomento di carattere interdisciplinare e che investe anche l'analisi di opere d'arte. Sono ricorrenze numerose le strutture che hanno simmetrie nascoste, come tali, che durante lo svolgimento del corso saranno discusse.

### PROGRAMMA

1. Conti storici partendo dal Timoteo attraverso Cartesio e il mito della tecnica del papavero
2. Concetto di gruppo
3. Simmetrie discrete e simmetrie continue
4. Ruolo delle simmetrie nella Fisica sia classica sia quantistica
5. Cristalli
6. Simmetrie nella relatività ristretta
7. Simmetria nelle particelle elementari. Materia e antimateria
8. Valore storico della simmetria
9. Simmetria in biologia

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono l'approfondimento di temi specifici proposti dal docente e applicazioni sul riconoscimento di simmetrie nascoste.

### BIBLIOGRAFIA

- D. Hilbert e Weyl-Cohen, *Geometria e intuizione*, Bollati Boringhieri  
H. Weyl, *Simmetria*, Bollati Boringhieri

### ESAME

La valutazione finale sarà basata sulle esercitazioni svolte e su una prova pratica scritta.

## UM009 ECONOMIA DELL'AMBIENTE

Esame organizzato dalla Facoltà di Architettura

PROGRAMMA NON PERVENUTO

## UM013 IL CONCETTO DI SIMMETRIA DALL'ANTICHITÀ A OGGI

Periodo didattico: 2

Docente: **Tullio REGGE**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso è incentrato sul concetto di simmetria. L'idea non è assolutamente quella di fare un corso monografico e astratto basato su formule, ma piuttosto quello di seguire le orme di Hermann Weyl, un grande matematico che ha scritto un testo classico sull'argomento di carattere interdisciplinare e che investe anche l'analisi di opere d'arte e di architettura. Sono estremamente numerose le strutture che hanno simmetrie nascoste, usualmente non riconosciute come tali, che durante lo svolgimento del corso saranno poste in luce.

### PROGRAMMA

1. Cenni storici partendo dal Timeo attraverso Galois e l'inizio della teoria dei gruppi.
2. Concetto di gruppo
3. Simmetrie discrete e simmetrie continue
4. Ruolo delle simmetrie nella Fisica sia classica sia quantistica
5. Cristalli
6. Simmetrie nella relatività ristretta
7. Simmetria nelle particelle elementari. Materia e antimateria
8. Valore estetico della simmetria
9. Simmetria in biologia

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono l'approfondimento di temi specifici proposti dal docente e applicazioni sul riconoscimento di simmetrie nascoste.

### BIBLIOGRAFIA

- D. Hilbert e Vossen-Cohen, *Geometria e intuizione*, Bollati Boringhieri  
H. Weyl, *Simmetria*, Bollati Boringhieri

### ESAME

La valutazione finale sarà basata sulle esercitazioni svolte e su una prova pratica scritta.

## UM009 ECONOMIA DELL'AMBIENTE

Esame attivato dalla Facoltà di Architettura  
PROGRAMMA NON PERVENUTO

# UM012 A LINGUA ITALIANA CON ESERCITAZIONI DI RETORICA E STILISTICA

Periodo didattico: 2

Docente: Carlo OSSOLA

## PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso intende fornire allo studente competenze nella composizione di scrittura: la letteratura è infatti anche disegno e "divisamento" di parole; articola una sintassi spaziale e temporale altrettanto logicamente costruita che quella dispiegata dalle arti grafiche e dai principi compositivi del disegno architettonico.

La composizione di scrittura ordina un lessico, obbedisce a una grammatica, si distribuisce per sintassi e paratassi. Descrive forme, individua oggetti, crea percorsi, vi traccia e vi situa la posizione del soggetto che descrive, commisura, argomenta, contempla.

Il corso intende offrire –come nei principi canonici della retorica classica– paradigmi per costruire testi e produrre senso.

## PROGRAMMA

Scomposizione analitica dei testi (10 h):

- varietà di testi: orale e scritto;
- unità di senso: la frase;
- unità di proposizione: il periodo;
- registri e forme mimetiche e diegetiche (descrizione, narrazione, dimostrazione, etc.);
- figure retoriche e stili di scrittura;

Composizione (10 h):

- unità compositive: contrazioni ed espansioni;
- scrittura del soggetto: monologo, dialogo, flusso memoriale, etc. ;
- scrittura dell'oggetto: il punto di vista;
- l'orizzonte degli oggetti: giaciture di spazio e di tempo;
- seriazioni e selezioni;

Argomentazione (10 h):

- posizione del problema, posizione della tesi;
- recensione dei dati: possibile e persuasibile;
- varianti di procedura: compatibilità e attese di senso;
- retorica e logica: paradigmi e verifiche;
- criteri di compiutezza: economia, evidenza, rendiconto;

La forma gratuita (10 h):

- comunicazione transitiva e comunicazione intransitiva;
- testo documentale e testo contemplativo;
- letteratura e poesia;
- traslazione e icona;
- lo sguardo del testo;

## ESERCITAZIONI

Il corso, consacrato a "elementi di composizione del testo scritto", contempla ai quattro moduli teorici, anche 20 ore di esercitazioni pratiche.

## BIBLIOGRAFIA

- E. Aliberti, I Gallinaro, G. Jori, S. Stroppa, *Esercitazioni di scrittura*, Celid, Torino, 1998  
B. Mortara Garavelli, *Manuale di retorica*, Bompiani  
U. Eco, *Come si fa una tesi di laurea*, Bompiani

## ESAME

L'esame prevederà, a fianco della prova orale, anche a presentazione di una relazione scritta.

# UM001 METODOLOGIA DELLE SCIENZE NATURALI (IL METODO SCIENTIFICO)

Periodo didattico: 1

Docente: **Gabriele LOLLI**

## PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di introdurre ai temi trattati dalla filosofia della scienza attraverso l'analisi di concrete pratiche scientifiche.

Negli ultimi anni c'è stata una reazione al neopositivismo e un periodo di discussioni storiche e filosofiche su scienza normale e rivoluzioni, progresso e incommensurabilità delle teorie; quindi sono state affrontate anche le condizioni al contorno, materiali e culturali del lavoro scientifico, con i contributi della sociologia e delle scienze cognitive.

La tendenza prevalente nella filosofia della scienza è quella di sottolineare il carattere storico, relativo, non garantito dei risultati e delle teorie scientifiche. Una prima parte del corso sarà dedicata a una rassegna di queste discussioni.

Una seconda parte sarà dedicata al metodo scientifico, riconosciuto come una complessa manifestazione di tecniche e di ragionamenti - non regole che garantiscono la certezza in indagini settoriali; resta il fatto però che i procedimenti scientifici rispettano precise condizioni per la formulazione e il controllo delle ipotesi, la ideazione, verifica e valutazione degli esperimenti. Saranno affrontati due aspetti, l'organizzazione degli esperimenti e il ruolo della matematica.

## PROGRAMMA

Ragionamento scientifico - Ipotesi, teorie, modelli, esperimenti - Esperimenti mentali - Apparat e strumenti - Misurazione Modelli scientifici - Modelli analogici e strutturali - Modelli di simulazione - Matematica e mondo - Spiegazione scientifica - Cause, correlazioni, ragionamento statistico, teoria delle decisioni Giustificazione delle teorie - Predizione - Verifica, corroborazione e falsificazione - Scoperta scientifica Scienza e metafisica - Determinismo - Riduzionismo - Rivoluzioni scientifiche - Stili di ricerca, scuole e tradizioni - La conoscenza sociale, il sapere non verbalizzabile

## BIBLIOGRAFIA

R. N. Giere, *Understanding Scientific Reasoning*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.

G. Lolli, *Beffe, scienziati e stregoni*, Il Mulino, Bologna, 1998.

L. Wolpert, *The Unnatural Nature of Science*, Faber&Faber, London, 1992.

## ESAME

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta su un tema o autore trattati nel corso.

Periodo didattico: 1

Docente: **Diego MARCONI****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone d'illustrare, ad un livello elementare, concetti, metodi, ed esempi della ricerca filosofica attuale, in vari campi (metafisica, filosofia del linguaggio, filosofia della mente, filosofia morale). Sarà sottolineata la struttura argomentativa del discorso filosofico, cioè si cercherà di mettere in evidenza in che modo e con quali argomenti sono sostenute le diverse tesi filosofiche di volta in volta esaminate.

**PROGRAMMA**

- Filosofia (alcune concezioni della filosofia: Aristotele, Stoicismo, Locke, Cartesio, Hegel, Wittgenstein)
- Giusto e sbagliato in senso morale (ci sono argomenti per l'altruismo? I principi e i valori morali sono universali?)
- Libero arbitrio e determinismo
- Mente e cervello (dualismo - riduzionismo - funzionalismo)
- Morte (c'è vita dopo la morte? La morte è buona, cattiva o indifferente? La morte degli altri e la propria morte)
- L'esistenza di Dio (argomenti per l'esistenza di Dio; Dio e il male)
- Conoscenza e scetticismo
- Verità: definizioni di verità e criteri di verità; corrispondenza e coerenza, giustificazione, verifica; realismo e antirealismo
- Linguaggio e significato (la teoria di Frege - la teoria di Kripke - le idee di Wittgenstein)
- Progresso (scientifico, tecnologico, sociale, morale)

**BIBLIOGRAFIA**

T. Nagel, Una brevissima introduzione alla filosofia, Il Saggiatore, Milano 1989

sarà il testo di base; saranno inoltre usate parti dei seguenti:

M. Messeri, Verità, La Nuova Italia;

G. Graham, Shapes of the Past, Oxford;

R. Warburton, Philosophy (2a ed.), Routledge;

J. Hospers, An Introduction to Philosophical Analysis (4ed.), Routledge.

**ESAME**

L'esame prevederà la presentazione di una relazione scritta su un testo filosofico concordato col docente, e un compito scritto finale.

**ESERCITAZIONI**

Il corso, consacrato a "elementi di composizione del testo scritto", contempla ai quattro moduli teorici, anche 20 ore di esercitazioni pratiche.

**BIBLIOGRAFIA**

E. Aliberti, I. Calliaco, G. Iori, S. Stroppa, *Esercitazioni di scrittura*, Celid, Torino, 1998

B. Mortara Garavelli, *Manuale di retorica*, Bompiani

U. Eco, *Come si fa una tesi di laurea*, Bompiani

**ESAME**

L'esame prevederà, a fianco della prova orale, anche la presentazione di una relazione scritta.

## UM003 SOCIOLOGIA DEL LAVORO

Periodo didattico: 2

Docente: **Alberto BALDISSERA**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Scopo del corso è esaminare modi e forme di utilizzazione economica e sociale delle innovazioni tecnologiche. Particolare attenzione verrà dedicata all'analisi delle relazioni esistenti tra innovazioni tecnologiche ed organizzative nelle imprese economiche e in alcuni sistemi tecnologici complessi.

L'idea di fondo è che la diffusione delle innovazioni tecnologiche richiede adattamenti e innovazioni radicali nelle strutture organizzative delle imprese economiche, oltre a notevoli investimenti in istruzione e formazione professionale. A loro volta, le innovazioni organizzative, dal mutamento dei sistemi manageriali di controllo e dell'organizzazione del lavoro sino alle modifiche delle interfacce uomo-macchina, adattano le tecnologie alle esigenze produttive e del lavoro umano e contribuiscono a modificarle in misura rilevante.

### PROGRAMMA

- Alcuni temi e problemi fondamentali della sociologia dell'azione sociale e della metodologia della ricerca sociologica;
- Le relazioni tra processi di globalizzazione, innovazioni tecnologiche e occupazione, nei paesi europei e negli USA. Particolare attenzione verrà dedicata all'analisi delle politiche (riguardanti l'istruzione e la formazione professionale, il mercato del lavoro, le politiche pubbliche di welfare, l'innovazione di prodotti e di processi) messe in atto in questi paesi al fine di stimolare lo sviluppo economico e l'occupazione.
- Le innovazioni organizzative (come il re-engineering o i programmi di total quality management) che accompagnano, stimolano e modificano l'introduzione delle tecnologie dell'informazione nelle organizzazioni industriali e dei servizi.
- Le patologie dei sistemi tecnologici complessi, illustrate negli ultimi decenni da una serie di incidenti maggiori, da Seveso a Three Mile Island, Chernobil, Bophal, etc. Verranno in particolare definiti i concetti di interfaccia e di interazione uomo-macchina, di logica della progettazione e logica di utilizzazione dei sistemi tecnologici complessi, di organizzazione affidabile ed esaminate alcune teorie organizzative degli incidenti tecnologici.

### BIBLIOGRAFIA

- A. Baldissera, *La tecnologia difficile*, Tirrena Stampatori, Torino, 1992
- A. M. Chiesi, *Lavori e professioni*, Roma, NIS, 1997.
- D. S. Landes., *Prometeo liberato. Trasformazioni tecnologiche e sviluppo industriale nell'Europa occidentale dal 1750 ai giorni nostri*, Torino, Einaudi, 1978.

### ESAME

L'esame prevederà, a fianco della prova orale, la presentazione di una relazione scritta. Gli studenti saranno invitati a scrivere e presentare studi riguardanti uno o più incidenti tecnologici maggiori. In questo caso è indispensabile una buona conoscenza della lingua inglese.

Periodo didattico: 1

Docente: **Giuseppe ORTOLEVA****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso mira a dotare gli studenti di strumenti critici utili

da un lato a usare e comprendere fattivamente gli usi e le funzioni della comunicazione nei diversi ambiti produttivi nei quali si troveranno a operare,

dall'altro ad acquistare consapevolezza critica della presenza e del ruolo dei media nei diversi aspetti della vita sociale, una consapevolezza oggi necessaria per una responsabile partecipazione civica, qual è richiesta in particolare a chi esercita funzioni direttive e gestionali.

Il Corso avrà pertanto carattere interdisciplinare (con punti di vista sociologici, economici, culturali) e sarà dedicato non ad alcuni singoli mezzi di comunicazione, ma all'intero quadro sistematico dei media. Verrà fornita un'analisi d'insieme delle relazioni e interdipendenze organizzative, economiche e sociali, esistenti fra i diversi comparti dell'industria della comunicazione: i "vettori" (posta e telecomunicazioni), il "broadcasting" (radio, TV, TV-cavo), l'"editoria" (incluendo in questo concetto non solo libri e giornali, ma anche produzione discografica, cinematografica, home video, fino al software informatico), l'"hardware", ovvero i beni strumentali.

Particolare attenzione sarà dedicata da un lato alle strutture professionali e all'organizzazione dei vari settori dell'industria dei media, dall'altro alle nuove tecnologie oggi emergenti e ai nuovi settori produttivi nascenti dall'incontro o "convergenza" tra i media in precedenza separati.

**PROGRAMMA**

- Comunicazione: definizioni e quadro teorico
- Le comunicazioni di massa e l'industrializzazione della cultura
- La comunicazione e la vita delle imprese
- L'attuale sistema dei media
- Prospettive di evoluzione
- Il caso italiano.

**BIBLIOGRAFIA**

P.Ortoleva, Comunicazione e cambiamento sociale nel mondo contemporaneo, (Pratiche), Parma 1995;

G.Cesareo e P.Roda, Il mercato dei sogni, (Il Saggiatore), Milano 1996;

E.Pucci (a cura di), L'industria della comunicazione in Italia, (Guerini), Milano 1996

**ESAME**

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.

# UM005 **STORIA DELLA FILOSOFIA CONTEMPORANEA + ESTETICA (CORSO INTEGRATO)**

Periodo didattico: 2 Nuova attivazione

Docenti: **Gianni VATTIMO (e Roberto SALIZZONI)**

## **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Breve storia della filosofia novecentesca centrato sul tema del rapporto tra "humanities" e mondo tecnico-scientifico: il filo conduttore è dunque ciò che la filosofia novecentesca (e non solo la filosofia in senso stretto: anche autori e testi di campi affini, come: letteratura, sociologia, tecnologia...) ha pensato circa la configurazione principalmente tecno-scientifica del mondo contemporaneo: posizioni polemiche, spesso, ma anche teorie che guardano alla scienza sperimentale come modello di conoscere "vero", e alla tecnologia come a luogo di sperimentazione per una nuova forma di umanità. Il corso non privilegia (anche se non ignora) le riflessioni filosofiche sulla scienza, non è cioè un corso di epistemologia; e anzi ritiene indispensabile allargare la prospettiva sulla storia delle idee nel senso più generale della parola.

## **PROGRAMMA**

I contenuti dei due corsi, strettamente integrati tra loro, prevedono lo sviluppo della storia dei principali movimenti filosofici del Novecento centrata sul rapporto esistenza-tecnica. In particolare si approfondiranno i seguenti temi:

- Lo spirito dell'avanguardia: E. Bloch e l'espressionismo
- Tempo vissuto e libertà in Bergson
- Esistenzialismo e autenticità
- La scuola del sospetto: Nietzsche, Freud, Marx
- La scienza come modello: Wittgenstein, Popper
- La scuola di Francoforte e la critica della razionalizzazione
- Nichilismo: Sartre, Heidegger, Pareyson
- Dalla linguistica all'antropologia e dall'antropologia alla linguistica: Lévi Strauss, Bateson, la scuola di Palo Alto e la pragmatica della comunicazione.
- Postmoderno e narrativa: Lyotard e P. Ricoeur
- Arte e tecnologia moderna
- Le grandi svolte dell'etica
- Il dialogo, la virtù, la comunità
- Filosofia della religione, il problema del sacro

## **BIBLIOGRAFIA**

G. Vattimo, *Tecnica ed esistenza*, Paravia, Torino, 1998

AA. VV., *Dizionario di filosofia e scienze umane*, Garzanti

Durante il corso sarà fornito dal docente ulteriore materiale didattico.

## **ESAME**

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.

Periodo didattico: 1

Docente: **Vittorio MARCHIS**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso vuole fornire agli studenti la capacità di inquadrare gli oggetti e i sistemi tecnici nella loro prospettiva storica. A tal fine il corso prende l'avvio da alcune fondamentali premesse sul concetto di storia, sul ruolo e sulle finalità della ricerca storica, e specificamente sul significato della storia della tecnologia e sulla sua storiografia. Nel seguito sono passati in rassegna i sistemi tecnici più significativi, a partire da alcuni cenni sul mondo antico sino a focalizzare l'attenzione sul mondo contemporaneo. E' dato ampio spazio alle problematiche della tecnica nel XIX e XX secolo.

### **PROGRAMMA**

La storia come scienza. Le scritture, i documenti, la ricerca storica.

I temi e le idee della storia. Cronologia e storia. La storia e "le storie". Le scritture come fondamento della storia: il documento. La storia della tecnica e la sua storiografia. La storia della tecnica e la storia della scienza. Gli strumenti della storia della tecnica.

- Dal mondo antico al Medioevo (cenni).

- Dal Rinascimento al Seicento.

La "scienza nuova" e il passaggio "dal mondo del pressappoco all'universo della precisione" (A.Koyré): La nascita della metallurgia nel '500; la "meccanica" da Guidobaldo del Monte a Galilei a Newton; la nascita delle Accademie e delle istituzioni scientifiche.

- Il Settecento e la coscienza della tecnologia.

L'Illuminismo e le Enciclopedie. La Rivoluzione industriale in Gran Bretagna. L'industria dei metalli e gli arsenali. Il vapore. L'istruzione tecnica.

- L'Ottocento e il trionfo delle macchine.

Il macchinismo e la diffusione del sistema di fabbrica: Inghilterra, Francia, Germania, Italia. La nascita dell'elettricità. I sistemi tecnici: il telegrafo; le ferrovie; l'industria chimica. I politecnici e le scuole di ingegneria. La diffusione del sapere tecnico: le Esposizioni industriali; i brevetti. L'ottimismo "fin-de-siècle".

- Le crisi e le speranze del XX secolo

Le costruzioni in ferro e in cemento armato. La nascita dell'aeronautica. Il sistema industriale e il modello tayloristico. I grandi sistemi tecnici: elettricità, telecomunicazioni, trasporti. I limiti dello sviluppo. Le rivoluzioni informatiche.

### **LABORATORI E / O ESERCITAZIONI**

Durante il corso, gli studenti a gruppi affronteranno la lettura critica di testi significativi della storiografia dei sistemi tecnici, con particolare riferimento al secolo XX e i cui risultati saranno oggetto di discussione collettiva durante le esercitazioni.

### **BIBLIOGRAFIA**

Marchis, *Storia delle macchine*, (Ed. Laterza), Roma-Bari 1994;

V. Marchis (a cura di), *Storia delle scienze. vol.V (Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico)*, (Einaudi), Torino 1995.

### **ESAME**

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.

## UM007 **TEORIA DEI LINGUAGGI**

Periodo didattico: 2

Docente: **Alberto VOLTOLINI**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso intende fornire alcune nozioni fondamentali di analisi del linguaggio, utili a comprendere il modo in cui funzionano sia le lingue naturali (come l'italiano, l'inglese ecc.) sia i linguaggi artificiali come quelli usati dalla matematica o dall'informatica. Queste nozioni fondamentali sono state elaborate nell'ambito di teorie filosofiche, linguistiche e psicologiche; si tratterà quindi di familiarizzarsi con alcune di queste teorie, come la teoria della sintassi di Chomsky, la semantica formale creata da Tarski e poi applicata sia allo studio delle lingue naturali, sia a quello dei linguaggi artificiali, e la pragmatica, una teoria filosofica creata da Austin, Searle e Grice e oggi applicata soprattutto in linguistica, per comprendere a quali condizioni un atto linguistico è appropriato o "felice". Verranno presentate anche alcune teorie psicologiche (come la teoria dei prototipi) che sono pertinenti allo studio del linguaggio, in particolare a quello del significato delle parole.

La maggior parte di queste idee sono state e sono tuttora usate in intelligenza artificiale, specialmente nel settore detto 'elaborazione automatica del linguaggio naturale'. Il corso si soffermerà quindi anche sulle forme di rappresentazione del significato più usate in intelligenza artificiale (reti semantiche, frames) e sulla loro relazione con le teorie del linguaggio sopra citate.

### **PROGRAMMA**

- Alcuni concetti fondamentali: sintassi, semantica, pragmatica, sintagma, enunciato; proposizione, termine singolare (nomi propri, descrizioni)
- Punti di vista sul linguaggio: linguistica; teoria dei linguaggi formali; filosofia del linguaggio (semantica filosofica); psicologia (psicolinguistica); intelligenza artificiale (elaborazione del linguaggio naturale); semiologia
- Sintassi: l'evoluzione del programma di Chomsky; la fase attuale della grammatica generativa; altre teorie sintattiche
- Semantica: concetti introduttivi: senso, denotazione, forma logica; stereotipi e prototipi; semantica formale e sua applicazione alle lingue naturali; semantica linguistica (analisi componenziale, relazioni di senso); strutture semantiche impiegate in intelligenza artificiale
- Pragmatica; teoria degli atti linguistici; teoria della conversazione

### **BIBLIOGRAFIA**

M.Santambrogio (a cura di), *Introduzione alla filosofia analitica del linguaggio*, (Laterza), Roma-Bari 1992;

P.Casalegno, *Filosofia del linguaggio*, (la Nuova Italia Scientifica), Roma 1997.

### **ESAME**

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.