

**Guide ai programmi
dei corsi 1995/96**

Politecnico di Torino



**Ingegneria aeronautica
Ingegneria aerospaziale**

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

I Facoltà di ingegneria

Presidente: prof. Pietro Appendino

Corso di laurea

Ingegneria aeronautica
Ingegneria per l'ambiente e il territorio
Ingegneria chimica

Settore civile/edile:

Ingegneria civile

Ingegneria edile

Ingegneria elettrica

Ingegneria gestionale

Settore dell'informazione:

Ingegneria delle telecomunicazioni

Ingegneria elettronica

Ingegneria informatica

Ingegneria dei materiali

Ingegneria meccanica

Ingegneria nucleare

Presidente

(coordinatore)

Prof. Gianfranco Chiocchia

Prof. Antonio Di Molfetta

Prof. Vito Specchia

Prof. Giovanni Barla

Prof. Giovanni Barla

Prof. Secondino Coppo

Prof. Alfredo Vagati

Prof. Agostino Villa

Prof. Paolo Prinetto

Prof. Mario Pent

Prof. Carlo Naldi

Prof. Paolo Prinetto

Prof. Carlo Gianoglio

Prof. Rosolino Ippolito

Prof. Evasio Lavagno

II Facoltà di ingegneria (sede di Vercelli)

Presidente: prof. Antonio Gugliotta

Corso di laurea

Ingegneria civile

Ingegneria elettronica

Ingegneria meccanica

Coordinatore

Prof. Riccardo Nelva

Prof. Luigi Ciminiera

Prof. Maurizio Orlando

L'edizione 1995/96 delle *Guide ai programmi*. Per esplicita richiesta del *Comitato paritetico per la didattica*, questa edizione si basa su una pressoché completa riscrittura dei testi da parte dei docenti, nell'intento di dare maggiori dettagli sui contenuti e lo svolgimento dei singoli insegnamenti. L'insieme delle *Guide* assomma ora ad oltre 2000 pagine, costituendo una ricca fonte d'informazione sull'offerta didattica; nonostante la massima cura posta nell'edizione, inevitabili sono sviste ed errori residui, ed il CIDEM è fin d'ora grato a docenti e studenti che vorranno segnalarli.

Edito a cura del CIDEM

Centro Interdipartimentale di Documentazione e Museo del Politecnico di Torino

Corso Duca degli Abruzzi 24 – 10129 Torino

Tel. 011.564'6601 – Fax 011.564'6609 – e-mail cid@polito.it

Stampato nel mese di settembre 1995

Litografia Geda – Via Villa Glori 6 – Torino

Indice

- 5 Ingegneria aeronautica : presentazione
- 11 Ingegneria aerospaziale : presentazione
- Programmi degli insegnamenti
- 13 obbligatoria
- 63 d'orientamento
- 111 Tavola alfabetica dei docenti
- 117 Tavola alfabetica degli insegnamenti

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 1995/96 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 didattico¹ 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 dal DPR 20 maggio 1989² 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 mi-

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

² Pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 186 del 1989-08-10.

nimi di unità didattiche da scegliere in determinati raggruppamenti disciplinari consistenti in *gruppi*³ di discipline affini. Lo stesso nuovo Statuto stabilisce l'articolazione dei vari corsi di laurea in termini di *gruppi* e di *unità didattiche*, cosicché ogni Consiglio di corso di laurea può più facilmente adeguare annualmente il piano degli studi alle nuove esigenze richieste dal rapido evolversi delle conoscenze e degli sviluppi tecnologici. Perciò ogni anno i vari Consigli dei corsi di laurea stabiliscono gli insegnamenti ufficiali, obbligatori e non obbligatori, che costituiscono le singole annualità, e le norme per l'inserimento degli insegnamenti non obbligatori, eventualmente organizzati in orientamenti.

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

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

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

- alcuni corsi di laurea introducono già al terzo anno una scelta di corsi di indirizzo o di orientamento, che richiedono la formulazione di un'opzione fra le scelte segnalate: tali opzioni vanno esercitate all'atto dell'iscrizione;
- in relazione a talune difficoltà, che possono verificarsi all'atto dell'accorpamento di taluni CL per le discipline di carattere propedeutico (del primo e secondo anno), non è assicurata 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").

L'edizione 1995/96 delle *Guide ai programmi*. Per esplicita richiesta del *Comitato paritetico per la didattica*, questa edizione si basa su una pressoché completa riscrittura dei testi da parte dei docenti, nell'intento di dare maggiori dettagli sui contenuti e lo svolgimento dei singoli insegnamenti. L'insieme delle *Guide* assomma ora ad oltre 2000 pagine, costituendo una ricca fonte d'informazione sull'offerta didattica; nonostante la massima cura posta nell'edizione, inevitabili sono sviste ed errori residui, ed il CIDEM è fin d'ora grato a docenti e studenti che vorranno segnalarli.

³ Questi *gruppi* coincidono con quelli dei raggruppamenti concorsuali per i professori universitari.

Corso di laurea in

Ingegneria aeronautica

Profilo professionale

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

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

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

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

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

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

progettazione, e, contemporaneamente, di essere prodotto in serie numericamente limitate.

Ne consegue un massiccio impiego di ingegneri aeronautici in attività di progettazione anche di livello concettuale non elevatissimo, ancorché essenziali per la realizzazione del prodotto, quali l'impiego di modelli in programmi di calcolo e l'analisi e l'elaborazione dei dati sperimentali o di calcolo. (Una prevedibile ottimizzazione di risorse intellettuali e umane sarà quindi data dall'impiego, anche in contesto progettuale, come nelle attività ora accennate, della nuova figura professionale dell'ingegnere diplomato. In generale l'attività di progettazione aeronautica richiede una base consolidata di conoscenza delle problematiche e delle linee di sviluppo della tecnica aeronautica e delle appropriate impostazioni dei problemi della sicurezza e affini. Inoltre, le funzioni di coloro a cui è richiesto il controllo più o meno esteso dei problemi del sistema velivolo e della pianificazione della attività 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 aeronautica

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

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

Il *curriculum* degli studi, mirato a fornire un corpo di conoscenze teoriche, sperimentali, applicative e normative ritenute necessarie a formare le suddette cultura e figura professionale, si articola su 29 insegnamenti, ripartiti in 25 obbligatori e 4 di orientamento. Vengono dapprima forniti nel complesso i 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 aeronautica, comprendente corsi sviluppati e organizzati con l'intento di fornire su ciascuna delle aree di interesse (correlate alle funzioni dell'ingegnere aeronautico), un livello

culturale idoneo sia a costituire valida base per successivi arricchimenti specialistici nelle discipline di orientamento, sia a consolidare una formazione interdisciplinare atta a cogliere l'auspicabile visione d'insieme del sistema-velivolo. Il curriculum si chiude quindi sulle materie specialistiche degli orientamenti che il Corso di laurea propone sulla base delle funzioni e aree di attività precedentemente individuate. Gli orientamenti al momento proposti sono:

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

Insegnamenti obbligatori

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

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

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

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

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

Quadro didattico degli insegnamenti obbligatori

Il quadro presenta la successione temporale delle materie obbligatorie, nonché la posizione delle quattro materie di orientamento (indicate con Y.1 – Y.4).

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

B 023 1 : Analisi matematica 1

B 0620 : Chimica

1:2 B 2300 : Geometria

B 190 1 : Fisica 1

B 1430 : Disegno tecnico industriale

2:1 B 023 2 : Analisi matematica 2

B 190 2 : Fisica 2

B 2170 : Fondamenti di informatica

2:2 B 3370 : Meccanica razionale

B 1790 : Elettrotecnica

B 4620 : Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali

3:1 B 0050 : Aerodinamica

B 2060 : Fisica tecnica

B 4600 : Scienza delle costruzioni

3:2 B 1030 : Costruzioni aeronautiche

B 3210 : Meccanica applicata alle macchine

Y.1 *Insegnamento di orientamento*

4:1 B 1710 : Elettronica applicata

B 3110 : Macchine

B 3300 : Meccanica del volo

4:2 B 0940 : Costruzione di macchine

B 2220 : Gasdinamica

B 5660 : Tecnologie delle costruzioni aeronautiche

5:1 B 3830 : Motori per aeromobili

B 4280 : Progetto di aeromobili

Y.2 *Insegnamento di orientamento*

5:2 B 1530 : Economia ed organizzazione aziendale

Y.3 *Insegnamento di orientamento*

Y.4 *Insegnamento di orientamento*

Insegnamenti di orientamento

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

Aerogasdinamica

| | |
|-----|--|
| 3:2 | B 0510 : Calcolo numerico <i>oppure</i> B 3170 : Matematica applicata |
| 5:1 | B 0052 : Aerodinamica 2 |
| 5:2 | B 2222 : Gasdinamica 2 <i>oppure</i> B 2120 : Fluidodinamica delle turbomacchine B 3960 : Principi di aeroelasticità <i>oppure</i> B 0080 : Aerodinamica sperimentale |

Meccanica del volo

| | |
|-----|---|
| 3:2 | B 5930 : Teoria matematica dei controlli <i>oppure</i> B 0510 : Calcolo numerico |
| 5:1 | B 1250 : Dinamica del volo |
| 5:2 | B 3310 : Meccanica del volo dell'elicottero B 5100 : Sperimentazione di volo <i>oppure</i> B 1252 : Dinamica del volo 2 |

Propulsione

| | |
|-----|---|
| 3:2 | B 5930 : Teoria matematica dei controlli <i>oppure</i> B 0510 : Calcolo numerico |
| 5:1 | B 4380 : Propulsione aerospaziale |
| 5:2 | B 2120 : Fluidodinamica delle turbomacchine B 1800 : Endoreattori |

Sistemi

3:2 B 5930 : Teoria matematica dei controlli *oppure*
B 0510 : Calcolo numerico

5:1 B 2570 : Impianti aeronautici

5:2 B 4260 : Progetto dei sistemi aerospaziali
B 5230 : Strumentazione aeronautica

Strutture

3:2 B 5930 : Teoria matematica dei controlli *oppure*
B 3170 : Matematica applicata

5:1 B 5330 : Strutture aeronautiche

5:2 B 4190 : Progettazione di strutture aerospaziali
B 1032 : Costruzioni aeronautiche 2

Corso di laurea in

Ingegneria aerospaziale

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

1:1 B 0050 : Aerodinamica
B 3830 : Motori per aeromobili
B 4280 : Progetto di aeromobili
B 3300 : Meccanica del volo

1:2 B 1030 : Costruzioni aeronautiche
B 2220 : Gasdinamica
B 5660 : Tecnologie delle costruzioni aeronautiche

Secondo anno

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

1. orientamento

2:1 B 0052 : Aerodinamica 2
B 2140 : Fluidodinamica sperimentale
B 6100 : Fluidodinamica dei sistemi propulsivi
B 6110 : Propulsori astronautici
B 4380 : Propulsione aerospaziale

2:2 B 5100 : Sperimentazione di volo
B 2090 : Fluidodinamica ambientale
B 2222 : Gasdinamica 2
B 3960 : Principi di aeroelasticità
B 1260 : Dinamica del volo spaziale

2. orientamento

| | |
|-----|--------------------------------|
| 2:1 | B 1710 : Elettronica applicata |
| | B 2570 : Impianti aeronautici |
| | B 5370 : Strutture spaziali |

| | |
|-----|--|
| 2:2 | B 0090 : Aeroelasticità applicata |
| | B 1032 : Costruzioni aeronautiche 2 |
| | B 4190 : Progettazione di strutture aerospaziali |
| | B 4260 : Progetto dei sistemi aerospaziali |
| | B 5230 : Strumentazione aeronautica |

NOTA. 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 aeronautica*.

Programmi degli insegnamenti

(insegnamenti obbligatori)

I programmi sono riportati nello stesso ordine (anno e periodo didattico) in cui compaiono nel quadro generale. A questa sezione seguono i programmi dei corsi d'orientamento (p. 63). Al termine del volume (p. 111) le tavole alfabetiche generali, per nomi dei docenti e per titoli degli insegnamenti.

B 023 1 **Analisi matematica 1**

Anno: periodo 1:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Claudio Canuto

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

1. 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]
2. 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]
3. Successioni. Teoremi sulle successioni. Limiti fondamentali. Successioni monotone e legami tra estremo inferiore e superiore e i limiti. [4 ore]
4. Definizione di continuità. Algebra delle funzioni continue. Esistenza zeri, valori intermedi e risultati su continuità globale. Continuità della funzione inversa. [4 ore]
5. 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]
6. 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]

7. Integrali impropri. Criterio di convergenza del confronto, criterio del valore assoluto e criterio del confronto con infiniti o infinitesimi campione. [6 ore]
8. Equazioni differenziali del primo ordine: autonome, a variabili separabili lineari e omogenee. Equazioni differenziali del secondo ordine a coefficienti costanti. [6 ore]

ESERCITAZIONI

1. 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]
2. Calcolo di limiti, forme indeterminate, limite di funzione composta. Infiniti, infinitesimi, parti principali, limiti notevoli. [6 ore]
3. Esercizi di derivazione. derivabilità di funzioni definite a tratti. Funzioni iperboliche. Determinazione del numero di radici di un polinomio. [8 ore]
4. Studi di funzione. Asintoti. Funzioni pari e dispari. [6 ore]
5. 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]
6. Formula di Taylor. Criteri per i punti critici e per i flessi. [4 ore]
7. 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, Torino, 1991.

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

ESAME

L'esame si svolge con una prova scritta della durata di due ore, in cui si chiede di svolgere due esercizi. Alla prova scritta si possono consultare i testi di lezione ed esercitazione e gli appunti, mentre è vietato l'uso di calcolatori di ogni tipo. Dalla prova scritta è possibile ritirarsi senza che avvengano registrazioni negative. Successivamente si svolge un colloquio orale.

B0620 Chimica

Anno: periodo 1:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docenti: Antonio Iannibello, Piero Rolando, Mario Vallino

(collab.: Francesco Geobaldo, Rocco Delorenzo, Enrica Vernè)

Il corso si propone di fornire le basi necessarie per la comprensione e l'interpretazione dei fenomeni chimici e di dare una breve rassegna delle proprietà degli elementi comuni e dei loro principali composti. Esso si articola di conseguenza in tre parti: una di chimica generale, una di chimica inorganica ed una di chimica organica.

REQUISITI. Per seguire il corso sono sufficienti le nozioni di base relative alle leggi fondamentali della chimica, alla simbologia ed alla nomenclatura.

PROGRAMMA

Struttura della materia. [5 ore]

Stati di aggregazione della materia. Sistemi omogenei ed eterogenei. Fasi. Leggi fondamentali della chimica. Principio di Avogadro. Ipotesi atomica. Determinazione dei pesi atomici: metodo di Cannizzaro, regola di Dulong e Petit. Determinazione della formula e calcolo della composizione dei composti. Composizione di sistemi omogenei.

Lo stato gassoso. [8 ore]

Proprietà e leggi dei gas perfetti. Equazione di stato di van der Waals. Determinazione dei pesi molecolari delle sostanze gassose. Dissociazione termica. Teoria cinetica dei gas. Distribuzione delle energie e delle velocità (curve di Maxwell-Boltzmann). Legge di Graham. Capacità termica e calore specifico dei gas a pressione e a volume costante. Rapporto tra calori specifici a pressione ed a volume costante. Determinazione del peso atomico dei gas nobili.

Termodinamica chimica. [3 ore]

Energia interna ed entalpia; loro variazione nelle reazioni chimiche: calcolo relativo e legge di Hess. Variazione dell'entalpia di reazione con la temperatura e lo stato fisico delle sostanze. Entropia ed energia libera di Gibbs.

La struttura dell'atomo ed il legame chimico. [20 ore]

Il modello atomico di Bohr e sua applicazione all'atomo di idrogeno. Transizioni tra livelli energetici. Inadeguatezza del modello di Bohr. Numeri quantici. Modello ondulatorio dell'elettrone: principi di De Broglie e di indeterminazione. Distribuzione degli elettroni negli orbitali atomici: principio di esclusione di Pauli. Sistema periodico degli elementi e configurazioni elettroniche. Raggi X: produzione e caratteristiche; spettri di emissione dei raggi X; legge di Moseley. Radioattività naturale. Periodo di semitrasformazione, legge dello spostamento di gruppo. Fenomeni di fissione e di fusione. Il legame ionico. Il legame covalente. Il legame covalente omeopolare ed eteropolare. Formazione di legami sigma e pi-greco. Energia di legame. Ibridazione di orbitali atomici: sp , sp^2 , sp^3 , sp^3d^2 : esempi di molecole. Il legame dativo. La regola pratica dell'ottetto, formule di Lewis. Strutture di risonanza in molecole e ioni. Elettronegatività degli elementi. Grado di ossidazione; reazioni di ossido-riduzione e loro bilanciamento. Legame idrogeno. Forze di van der Waals.

Cinetica chimica e equilibri chimici. [10 ore]

Velocità di una reazione chimica. I fattori che influenzano la velocità: fattore sterico, energia di attivazione, concentrazione dei reagenti, temperatura. I catalizzatori. Con-

etto di equilibrio chimico. Equilibri omogenei ed eterogenei. Legge dell'azione di massa. Relazione tra K_c e K_p . Applicazione della legge dell'azione di massa agli equilibri eterogenei. Influenza della temperatura sulla costante di equilibrio. Principio dell'equilibrio mobile. Legge di Henry. Regola delle fasi e sua applicazione agli equilibri eterogenei ed ai diagrammi di stato. Diagrammi di stato dell'acqua e dello zolfo. Cenni sui diagrammi di stato a due componenti.

Lo stato liquido e le soluzioni. [14 ore]

Tensione di vapore: equazione di Clausius-Clapeyron. Soluzioni diluite. Legge di Raoult. Crioscopia ed ebullioscopia. Pressione osmotica e membrane semipermeabili. Gli elettroliti deboli, forti e le loro soluzioni acquose. Acidi e basi deboli: costante e grado di ionizzazione; formula di Ostwald. Prodotto di solubilità. Prodotto ionico dell'acqua e pH . Indicatori. Idrolisi. Conducibilità elettrica delle soluzioni di elettroliti. Legge di Kohlrausch. Elettrolisi e leggi di Faraday. Doppio strato elettrico e potenziale di elettrodo. Equazione di Nerst. Serie elettrochimica. Pile ed accumulatori. Misura potenziometrica del pH . Elettrolisi e scarica preferenziale in funzione del potenziale di elettrodo. Sovratensioni di elettrodo ed inversione della scarica. Tensione di decomposizione. Elettrolisi dell'acqua e di soluzioni concentrate di $NaCl$. Raffinazione elettrolitica del rame. Accoppiamento di semireazioni e costituzione di un sistema redox.

Lo stato solido. [3 ore]

Tipi di solidi. I solidi metallici e la loro formazione; cenni sulla teoria delle bande: conduttori, semiconduttori, isolanti. Reticoli cristallini. I solidi cristallini e la diffrazione dei raggi X; l'esperienza di von Laue e la legge di Bragg. Soluzioni solide. Difetti nei solidi cristallini.

Chimica inorganica. [9 ore]

Schemi generali di reattività di metalli con acqua, acidi ossidanti e non ossidanti; passivazione di alluminio e cromo. Schemi generali di reattività di non metalli e metalli anfoteri con le basi. Idrogeno: proprietà chimiche, preparazione industriale e di laboratorio. Preparazione industriale di Na e $NaOH$. Metallurgia dello zinco. Preparazione industriale dell'allumina Bayer e metallurgia dell'alluminio. Reazioni di combustione. Preparazioni industriali dell'ammoniaca, della soda Solvay, dell'acido nitrico, dell'acqua ossigenata e dell'acido solforico. Il dicromato ed il permanganato di potassio come agenti ossidanti.

Chimica organica. [6 ore]

Isomeria di funzione, di struttura e geometrica. Caratteristiche funzionali e reattività di: alcani, alcheni, alchini, idrocarburi aromatici, alogenoderivati, alcoli, eteri, aldeidi, chetoni, acidi carbossilici, esteri, anidridi degli acidi, ammine alifatiche ed aromatiche, ammidi, nitrili. Polimeri e meccanismi di polimerizzazione: poliaddizione e policondensazione.

ESERCITAZIONI

Esercitazioni "numeriche" condotte in aula da un ricercatore (2 ore settimanali) e da un coadiutore (2 ore settimanali) su:

Nomenclatura chimica [4 ore]. Leggi dei gas [4 ore]. Calcoli stechiometrici [8 ore]. Termochimica [4 ore]. Bilanciamento delle reazioni [4 ore]. Equilibri chimici [8 ore]. Calcoli sulle soluzioni: crioscopia, ebullioscopia, pressione osmotica [8 ore]; pH , conduttanze [8 ore]; elettrochimica [4 ore].

BIBLIOGRAFIA

Brisi, Cirilli, *Chimica generale e inorganica*, Levrotto e Bella, Torino.
 Fine, Beall, *Chimica per Scienze ed Ingegneria*, EdiSES, Napoli.
 Silvestroni, *Fondamenti di chimica*, Masson, Milano.
 Corradini, *Chimica generale*, Casa Ed. Ambrosiana, Milano.
 Brisi, *Esercizi di chimica*, Levrotto e Bella, Torino.
 Montorsi, *Appunti di chimica organica*, CELID, Torino.

ESAME

L'esame si articola in due prove, scritta e orale.

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 prima prova non assicura una votazione minima né tantomeno il superamento dell'esame.

La prova scritta avrà la durata di due ore e consisterà in 30 quesiti, alcuni di natura teorica ed altri (a cui sarà riconosciuto un punteggio maggiorato) che richiederanno l'impostazione di un calcolo. Durante l'esecuzione della prova scritta gli studenti potranno avere unicamente una calcolatrice tascabile e quanto necessario per scrivere. Il punteggio massimo raggiungibile allo scritto è 30/30. Tutti coloro che hanno conseguito una votazione minima di 18/30 si presenteranno alla prova orale, che si articolerà su tutto il programma del corso, esercitazioni comprese.

B2300 Geometria

Anno: periodo 1:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Maria Teresa Rivolo

Il corso si propone di fornire agli studenti una preparazione di base per lo studio di problemi geometrici nel piano e nello spazio con l'uso di coordinate e di problemi di algebra lineare con l'uso del calcolo matriciale.

REQUISITI. Elementi di geometria euclidea e di trigonometria; proprietà dei numeri reali, operazioni di derivazione e di integrazione.

PROGRAMMA

1. Vettori del piano e dello spazio. Vettori applicati e liberi, operazioni, componenti. [5 ore]
2. Numeri complessi ed equazioni algebriche. Definizione di numero complesso, operazioni, rappresentazione. Principio di identità dei polinomi. Teorema fondamentale dell'algebra. [5 ore]
3. Spazi vettoriali. Proprietà elementari, sottospazi, dipendenza lineare, basi. Spazi di matrici, calcolo matriciale. [10 ore]
4. Sistemi lineari e determinanti. Compatibilità e metodi di risoluzione di un sistema. Sistemi ad incognite vettoriali e matrice inversa. Definizione e proprietà dei determinanti. Proprietà delle matrici e determinanti. [7 ore]
5. Applicazioni lineari. Definizione e proprietà. Applicazioni lineari e matrici. Cambiamenti di base e matrici simili. Autovalori ed autovettori: polinomio caratteristico, diagonalizzazione di una matrice, cenni sulla forma canonica di Jordan. Cenni su equazioni e sistemi differenziali lineari di ordine n . [14 ore]
6. Spazi vettoriali con prodotto scalare. Spazi euclidei reali. Ortogonalità e basi ortonormali. Matrici ortogonali. Matrici simmetriche. Forme quadratiche. [4 ore]
7. Geometria analitica del piano. Coordinate cartesiane e polari. La retta: rappresen-

tazioni cartesiana e parametrica, parallelismo, angoli, fasci di rette. Distanze. Circonferenza: rappresentazioni, fasci di circonferenze. Coniche: forma generale e canonica, classificazione; tangente ad una conica in un suo punto. Cenni sulla polarità. [9 ore]

8. Geometria analitica dello spazio. Coordinate cartesiane, cilindriche, polari. Rette e piani: rappresentazioni, parallelismo, angoli, perpendicolarità; complanarità di due rette. Distanze. Superfici sferiche e circonferenze. Coni, cilindri, superfici di rotazione. Quadriche: equazioni canoniche e classificazione; piano tangente. [14 ore]

9. Geometria differenziale delle curve. Curve regolari e biregolari. Triedro fondamentale. Ascissa curvilinea. Curvatura e torsione. Cerchio osculatore. Formule di Frenet. [6 ore]

ESERCITAZIONI

1. Operazioni tra vettori. [3 ore]
2. Esercizi su numeri complessi ed equazioni algebriche. [3 ore]
3. Esempi di spazi e sottospazi vettoriali. Esercizi sulla dipendenza lineare. Determinazione di generatori e di basi. Operazioni tra matrici. [6 ore]
4. Risoluzione e discussione sulla compatibilità di sistemi lineari. Calcolo dell'inversa di una matrice. [4 ore]
5. Applicazioni lineari e matrici associate. Cambiamenti di base. Calcolo di autovalori e determinazione di autospazi. Esempi di diagonalizzazione e di forma canonica di Jordan per una matrice quadrata. [8 ore]
6. Basi ortonormali. Matrici simmetriche e forma canonica di una forma quadratica. [2 ore]
7. Rette, circonferenze e coniche del piano. [6 ore]
8. Curve e superfici dello spazio: rette, piani, circonferenze, sfere, quadriche, coni, cilindri, superfici di rotazione. [10 ore]
9. Proprietà differenziali di una curva: tangente, piano osculatore, cerchio osculatore, curvatura, torsione. Studio dell'elica circolare. [4 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

S. Greco, P. Valabrega, *Lezioni di algebra lineare e geometria. Vol. I-II*, Levrotto e Bella, Torino, 1994.

Testi ausiliari:

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

G. Beccari, N. Catellani, D. Ferraris, D. Giublesi, L. Mascarello, *Esercizi di algebra lineare e geometria analitica*, CELID, Torino, 1983.

E. Sernesi, *Geometria I*, Bollati Boringhieri, Torino, 1990.

A. Sanini, *Lezioni di geometria*, Levrotto e Bella, Torino 1994.

ESAME

L'esame si svolge in due prove, una scritta e una orale. Per lo scritto sono previste due modalità.

a) Due prove durante il semestre, la prima in forma di test, della durata di un'ora, riguardante l'algebra lineare; la seconda, della durata di un'ora e mezza, composta da esercizi di geometria analitica piana e spaziale. Durante le prove non è consentita la consultazione di testi.

b) Una prova della durata di due ore, in uno degli appelli previsti dal calendario, composta da esercizi sugli argomenti del Corso, nella quale è consentito consultare testi. Il superamento delle due prove di tipo a) con voto medio non inferiore a 15/30 consente allo studente di sostenere la prova orale nel periodo compreso tra giugno e ottobre, mentre lo studente che superi la prova di tipo b) con voto non inferiore a 15/30 deve sostenere la prova orale nello stesso appello.

B1901 **Fisica 1**

Anno: periodo 1:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); ++6 (nell'intero periodo)

Docente: Elio Miraldi (collab.: Giorgio Kaniadakis)

Il corso si propone di fornire allo studente le nozioni fondamentali necessarie alla comprensione di alcuni aspetti della fisica classica e della meccanica relativistica. In particolare il corso inizia dalla definizione delle unità di misura del Sistema Internazionale, fa uso delle equazioni dimensionali e introduce grandezze scalari e vettoriali, servendosi degli strumenti matematici dell'analisi differenziale e della geometria analitica.

Rispetto ai programmi tradizionali delle altre università italiane, il Politecnico di Torino ha deciso di porre al corso di *Fisica 2* la termodinamica, e di porre al primo anno i fondamenti dell'elettrostatica nel vuoto e dell'ottica geometrica. Questo permette di trattare i campi di velocità e i campi di forza statici con lo stesso formalismo e di introdurre lo studente all'uso degli operatori vettoriali.

REQUISITI

Il corso fa uso dell'analisi infinitesimale, in particolare degli operatori di derivazione totale e parziale e degli integrali, anche di linea e di superficie. È necessario quindi che lo studente abbia seguito il corso di *Analisi 1* e possieda un minimo di dimestichezza con l'algebra e la trigonometria.

PROGRAMMA

Unità di misura ed equazioni dimensionali. Il corso inizia con la definizione delle unità fondamentali di misura nel Sistema Internazionale, mettendone in luce i legami con gli aspetti e i problemi più attuali della fisica e della tecnologia. Si introducono le equazioni dimensionali, facendone cogliere l'utilità con alcuni esempi. Si introducono le esperienze di laboratorio che gli studenti potranno eseguire personalmente, facendo particolare riguardo, in questa fase introduttiva, all'analisi dei dati sperimentali, discutendo il metodo dei minimi quadrati e il metodo di interpolazione lineare.

Cinematica del punto. In questa parte del corso si cerca di richiamare nozioni già note allo studente, come velocità e accelerazione media ed istantanea in un sistema di riferimento inerziale, fondandole sulle proprietà geometriche delle curve nello spazio. In particolare si pongono le basi della relatività galileiana e della relatività ristretta studiando il moto di un punto in due sistemi di riferimento in moto relativo, anche rototraslatorio, discutendo in dettaglio le varie componenti dell'accelerazione dovute proprio al sistema di riferimento non inerziale.

Dinamica del punto materiale. Viene richiamata la grandezza massa di un punto materiale e si introduce la forza come causa dell'accelerazione del corpo, si introducono cioè i tre principi della dinamica newtoniana. Accanto ai *Gedankenexperimenten* necessari allo scopo viene introdotta la legge di Hook, cioè il dinamometro, per la misura statica delle forze. Si dà risalto all'equivalenza tra la massa inerziale e quella gravitazionale e si sottolinea la covarianza delle leggi della dinamica in sistemi di riferimento inerziali contro l'insorgenza di forze d'inerzia o forze fittizie in quelli non inerziali. Vengono descritte le leggi empiriche dell'attrito nei suoi vari aspetti: viscoso, radente tra superfici a contatto, volvente. Una serie di esempi viene usata per descrivere il moto di un punto in presenza delle forze d'attrito, con particolare riguardo alla velocità limite e allo spazio di frenata. Vengono inoltre studiate le diverse traiettorie di un punto materiale viste in un sistema di riferimento inerziale o non inerziale.

Lavoro di una forza. Viene introdotto il campo di forze e definita la grandezza lavoro,

cercando con esempi di evidenziare il concetto di integrale di linea. Viene dimostrato ed evidenziato il teorema dell'energia cinetica, che, oltre ad introdurre la grandezza fisica energia cinetica di un corpo, permette di approfondire aspetti già noti di dinamica del punto.

Campi di forza conservativi. Vengono descritte le proprietà di un campo di forze per il quale l'integrale di linea non dipenda dalla traiettoria ma solo dagli estremi. Si introduce quindi la grandezza energia potenziale e viene dimostrato il teorema di conservazione dell'energia meccanica, ed enunciato e commentato il principio di conservazione dell'energia.

Oscillazioni unidimensionali. Come primo esempio di campo di forze conservativo viene studiato il campo elastico del sistema massa-molla e descritte le oscillazioni unidimensionali partendo dalla conservazione dell'energia meccanica. Vengono studiate inoltre le oscillazioni in presenza di una forza di attrito viscoso e introdotta e valutata la potenza media persa in un periodo, così come le oscillazioni in presenza di una forza esterna sinusoidale forzante. Vengono descritte le oscillazioni forzate, sia a ridosso che lontano dalla frequenza di risonanza. Viene descritto il pendolo semplice sia per le piccole che per le grandi oscillazioni.

Teoria di relatività ristretta. Viene introdotta la teoria di relatività ristretta partendo dalla omogeneità e dalla isotropia dello spazio-tempo, cioè si scrivono le formule di cambiamento da un sistema inerziale ad un altro in moto rettilineo uniforme rispetto al precedente imponendo la sola interdipendenza delle coordinate spazio-temporali. Le formule ricavate dipendono da un parametro avente le dimensioni di una velocità con il significato fisico di velocità di trasporto del segnale. Imponendo uguale ad infinito il valore di questo parametro si ottengono le formule di relatività galileiana, mentre se lo si pone uguale alla velocità della luce si ottengono le formule di Einstein.

Meccanica dei fluidi. Viene descritto il campo di velocità per il moto stazionario di un fluido ideale e si introducono gli operatori vettoriali gradiente, divergenza e rotore per descrivere il moto e le proprietà del fluido stesso. Con il teorema dell'energia cinetica viene ricavata l'equazione di Bernoulli e ne vengono commentate le principali applicazioni pratiche. Vengono anche ricavate in modo a sé stante e dedotte dall'equazione di Bernoulli le equazioni di Stevino e di Archimede per la statica dei fluidi.

Dinamica dei sistemi. Si enunciano le grandezze fisiche necessarie alla descrizione del moto di un sistema di punti materiali, momento di una forza, momento d'inerzia, momento angolare, e se ne ricavano le principali proprietà. Viene dimostrato il teorema di Koenig e sono ricavate le equazioni del moto di un sistema di massa variabile, cioè del razzo e del nastro trasportatore.

Fenomeni d'urto. Viene descritta l'interazione tra due corpi detta urto. Si ricava il teorema dell'impulso quantità di moto e si ricava la conservazione di quest'ultima grandezza nell'urto. Si studiano sia gli urti con conservazione dell'energia cinetica che quelli anelastici. L'urto anelastico viene usato per la descrizione delle forze impulsive nel caso di un pendolo balistico.

Gravitazione universale. Vengono descritte le equazioni del campo gravitazionale nell'ipotesi newtoniana e ricavata l'espressione dell'energia potenziale e del potenziale gravitazionale. Si effettua l'estensione dal campo di un corpo puntiforme ad uno avente la simmetria sferica, anche facendo uso del teorema di Gauss, e vengono dedotte le tre leggi di Kepler. Vengono fatti numerosi esempi sul moto di satelliti artificiali.

Elettrostatica nel vuoto. Viene introdotta la legge di Coulomb e ricavate le equazioni del campo e del potenziale elettrostatico, mettendo in risalto analogie e differenze con il campo gravitazionale. Vengono ricavate le equazioni del campo e del potenziale in un dipolo elettrico. Si usa la legge di Gauss per il calcolo del campo e del potenziale in condizioni di simmetria, come per il calcolo di capacità di condensatori nel vuoto. Si arriva all'espressione dell'energia immagazzinata in un conduttore carico e all'energia di un campo elettrico.

Onde, ottica geometrica. Viene ricavata l'equazione di un'onda che si propaga in un mezzo elastico e per il caso armonico vengono enunciate le grandezze caratteristiche. Nel caso dell'onda luminosa si introducono le leggi di Snell che vengono applicate per descrivere la deviazione di un prisma e per ricavare le equazioni dello specchio sferico e della lente sottile nell'approssimazione parassiale.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vengono svolte il più possibile a ridosso delle lezioni e riguardano l'argomento svolto nelle lezioni stesse. È quindi lo stesso docente che ha svolto uno degli argomenti del corso a svolgere e commentare esercizi durante la lezione e nelle ore di esercitazione della settimana corrispondente.

LABORATORIO

Il corso prevede la partecipazione dello studente a tre esperienze di laboratorio in un apposito locale del Dipartimento di Fisica, con l'assistenza del collaboratore e di borsisti. Due delle esperienze sono assistite dal computer. Nella prima viene effettuata la verifica sperimentale della legge di caduta di un grave, e viene ricavata l'accelerazione di gravità. Nella seconda si misura il periodo di oscillazione di un pendolo semplice sia nel caso delle piccole oscillazioni, in funzione della lunghezza del filo di sospensione, che a parità di lunghezza in funzione dell'ampiezza delle oscillazioni stesse. In queste due esperienze il computer misura gli intervalli di tempo con una precisione del decimillesimo di secondo e porge interattivamente allo studente domande sul valore dei parametri necessari all'interpolazione dei dati sperimentali da lui ottenuti. La terza esperienza riguarda la misura dell'indice di rifrazione di una sostanza trasparente foggata a prisma, che viene effettuata in modo indiretto attraverso la misura dell'angolo di deviazione minima e dell'angolo diedro del prisma stesso.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

R. Resnick, D. Halliday, K.S. Krane, *Fisica 1 e Fisica 2*, ed. ital. a cura di S. Lo Russo, G. Mazzi, L. Taffara, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1993.

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fondamenti di fisica*, ed. ital. a cura di L. Cicala, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1995.

Testi ausiliari:

C. Mencuccini, V. Silvestrini, *Fisica. Vol. 1 e 2*, Liguori, Napoli, 1987.

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

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

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

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

ESAME

L'esame consta di una prova scritta, consistente nella soluzione di tre esercizi sulla meccanica del punto o dei sistemi, sulla meccanica dei fluidi o sulla gravitazione universale, sull'elettrostatica nel vuoto, e in una prova orale. La prova scritta non costituisce uno sbarramento alla prova orale, che può essere sostenuta qualunque sia il voto

riportato allo scritto, bensì uno strumento utile all'allievo per conoscere le proprie effettive capacità e conoscenze in campo fisico. Non sono effettuati sconti sul programma, pre-appelli o post-appelli rispetto alle date affisse in precedenza, ne sono ammesse rateizzazioni dell'esame in appelli diversi.

B1430 Disegno tecnico industriale

Anno: periodo 1:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Rita Quenda

Il corso si propone di fornire agli allievi di ingegneria aeronautica le conoscenze necessarie:

- per rappresentare graficamente organi di macchine e particolari aeronautici secondo la normativa tecnica;
- per dimensionare con quote e tolleranze gli elementi rappresentati ai fini costruttivi e funzionali;
- per interpretare i disegni tecnici, riconoscendo la geometria e la funzione dei vari componenti.

Nel corso viene inoltre presentata la teoria per la rappresentazione di curve e superfici per interpolazione ed approssimazione. Durante lo svolgimento delle esercitazioni viene presentato un *software* per il disegno automatico con il quale gli allievi eseguiranno un certo numero di disegni.

REQUISITI. Non ci sono prerequisiti per il corso, anche se sarebbe auspicabile una conoscenza di informatica di base.

PROGRAMMA

1. *Principi generali di rappresentazione.* [7 ore]
Unificazione; proiezioni centrali e proiezioni parallele; proiezioni ortogonali e convenzioni di rappresentazione; sezioni.
2. *Quotatura.* [5 ore]
Criteri generali; quotatura funzionale; quotatura per macchine a controllo numerico; conicità, inclinazione, zigrinature.
3. *Filettature.* [6 ore]
Tipi di profili; convenzioni di rappresentazione e designazione; dispositivi anti-svitamento.
4. *Tolleranze dimensionali.* [6 ore]
Criteri generali secondo normativa UNI; determinazione degli scostamenti; indicazione a disegno.
5. *Tolleranze di forma.* [4 ore]
Definizioni, indicazione a disegno; principio del massimo materiale.
6. *Rugosità.* [2 ore]
Definizioni secondo UNI; indicazione a disegno; relazione con la tolleranza dimensionale.
7. *Elementi di collegamento:* chiavette, linguette, scanalati [2 ore].
8. *Ruote dentate.* [2 ore]
Definizioni parametri; rappresentazione a disegno.
9. *Cuscinetti.* [7 ore]
Principali tipi di cuscinetti, applicazioni; norme di montaggio; bloccaggio radiale ed assiale; elementi di tenuta.

10. *Chiodatura*. [2 ore]

Tipi di chiodi (e ribattini) e indicazione a disegno.

11. *Saldatura*. [2 ore]

Principali tipi di saldatura; indicazione a disegno e quotatura.

12. *Elementi di disegno assistito da calcolatore*. [12 ore]

Matrici di trasformazione nel piano, in coordinate omogenee; matrici di trasformazione nello spazio; algoritmi per le operazioni di clipping e windowing; curve parametriche; curve per interpolazione; curve per approssimazione (Bezier, *B-spline*, NURBS).

13. *AutoCAD*. [15 ore]

Introduzione; comandi per il disegno in 2D; comandi per la modifica di elementi; sezioni; quotatura; blocchi; comandi per l'esecuzione e la visualizzazione di disegni in 3D.

ESERCITAZIONI

(In aula: 24 ore, 2 squadre; in laboratorio: 24 ore, 2 squadre)

Le esercitazioni richiedono l'esecuzione di disegni di particolari di impiego industriale. Tali disegni sono eseguiti prima a mano libera e, dopo la correzione, con il programma AutoCAD presso il Laboratorio Informatico di Base.

1. Disegno a mano libera di particolari industriali con il metodo delle proiezioni parallele. Tav. 1.
2. Disegno di particolari nelle varie viste e sezioni con indicazione delle quote. Tav. 2, 3.
3. Disegno di un semplice complessivo con elementi filettati, e due o tre particolari (per esempio: giunzione di pannelli, giunto meccanico, valvola). Tav. 4, 5, 6, 7.
4. Disegno di un complessivo e alcuni particolari con l'indicazione di quote, tolleranze e rugosità (p.es. cilindro pneumatico, ...). Tav. 8, 9, 10, 11.
5. Disegno di un complessivo ed alcuni particolari con il montaggio di cuscinetti radiali rigidi a sfere, ruote dentate, elementi di collegamento: chiavette, linguette, alberi scanalati (p.es. riduttore, pompa, compressore). Tav. 12, 13, 14.
6. Disegno di un complessivo ed alcuni particolari con il montaggio di cuscinetti radiali a rulli conici. Tav. 15, 16.

BIBLIOGRAFIA

S.L. Straneo, R. Consorti, *Disegno tecnico*, Principato, Milano.

(Consigliato per gli allievi che non hanno frequentato corsi di disegno tecnico nella scuola media superiore).

R. Rossi, *Il manuale del disegnatore*, Hoepli, Milano.

M. Orlando, G. Podda, *Lineamenti di disegno automatico*, CLUT, Torino.

M. Mortenson, *Modelli geometrici*, McGraw-Hill.

ESAMI

a) Prova grafica. Si svolge in 3 ore. Consiste nella realizzazione di un disegno del tipo di quelli eseguiti durante il corso, e nel rispondere a due-tre domande di teoria sugli argomenti trattati a lezione. (Per motivi organizzativi è necessario prenotarsi almeno 4 giorni prima della data dell'appello, lasciando il proprio nominativo presso il Dipartimento di Meccanica, 3. piano).

b) Prova orale. Consiste in una verifica delle esercitazioni svolte, che il candidato deve conoscere e saper discutere.

A conclusione delle prove *a* e *b*, il voto della prova grafica (integrato dalla valutazione delle esercitazioni), se non supera i 27/30, costituisce il voto definitivo d'esame.

Per votazioni oltre i 27/30 è richiesta una prova orale su gli argomenti trattati durante il corso. I candidati che lo desiderano possono optare per un'esame orale sugli argomenti trattati a lezione, il voto d'esame sarà la media delle valutazioni della prova grafica e di quella orale.

B0232 **Analisi matematica 2**

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4+2 (ore settimanali)

Docente: Maria Teresa Galizia Angeli

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 ed ai metodi di sviluppo in serie.

REQUISITI

Si richiede allo studente il possesso dei metodi di calcolo e delle considerazioni di carattere teorico forniti dai corsi di *Analisi matematica 1* e di *Geometria*. (L'esame di *Analisi matematica 2* non può essere sostenuto prima di aver superato l'esame di *Analisi matematica 1*).

PROGRAMMA

Funzioni scalari di più variabili [10 ore]

Topologia di R^n , limiti, continuità; differenziabilità, formula di Taylor; massimi e minimi liberi.

Integrali multipli [10 ore]

Integrali multipli in rettangoli e in regioni dello spazio n -dimensionale; integrali multipli impropri; funzioni definite mediante integrali dipendenti da parametro.

Funzioni vettoriali di più variabili [8 ore]

Limiti, continuità, derivabilità; matrice jacobiana; funzioni composte; calcolo differenziale su curve e superfici; trasformazione di integrali multipli; calcolo integrale su curve e superfici.

Campi vettoriali [6 ore]

Gradiente, divergenza, rotore; integrali di linea e integrali di flusso; teoremi di Gauss, Green e Stokes; campi conservativi e potenziale.

Funzioni implicite [5 ore]

Funzioni implicite, varietà; massimi e minimi vincolati.

Serie a termini costanti [7 ore]

Successioni; convergenza semplice ed assoluta; serie a termini positivi; serie a termini di segno alterno: serie di vettori e serie di matrici.

Serie di funzioni [6 ore]

Spazi normati; convergenza negli spazi normati; serie di funzioni; serie di potenze.

Sviluppi in serie [10 ore]

Serie di Fourier; serie di Taylor; applicazioni al calcolo di integrali e alla risoluzione di equazioni differenziali lineari.

Sistemi differenziali lineari [10 ore]

Matrice esponenziale; sistemi lineari a coefficienti costanti: risoluzione con matrice esponenziale; sistemi lineari a coefficienti non costanti.

Equazioni differenziali [6 ore]

Equivalenza tra equazioni differenziali e sistemi; equazioni lineari a coefficienti costanti; equazioni del secondo ordine riducibili al primo.

ESERCITAZIONI

Il programma delle esercitazioni in aula segue settimanalmente quello delle lezioni, perciò contiene gli stessi titoli, ed una distribuzione di tempi all'incirca proporzionale, nella misura di 2/3.

LABORATORIO

Le esercitazioni al LAIB sono facoltative per gli studenti, e volontaristiche da parte del docente: il loro effettivo svolgimento è pertanto subordinato alla disponibilità del docente, nel quadro del piano didattico del Dipartimento di Matematica. Qualora sia possibile effettuarle, esse vengono svolte al LAIB 3 oppure al LAIB 4, in gruppi di 3-4 studenti ciascuno, e constano di:

– una esercitazione su oscillazioni sinusoidali e funzioni periodiche (4 ore), uguale per tutti gli studenti

– un tema sul programma di *Analisi matematica 2*, a scelta tra quelli proposti dal docente, da svolgersi nel corso dell'intero semestre (18 ore al LAIB).

I risultati vengono raccolti in una relazione di gruppo, e presentati all'esame orale.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Bacciotti, F. Ricci, *Lezioni di analisi matematica II*, Levrotto & Bella, Torino, 1991.

Testi ausiliari:

S. Salsa, A. Squellati, *Esercizi di analisi matematica II*, Masson, Milano, 1993.

M. Spiegel, *Manuale di matematica* (Collana Schaum), ETAS, 1974.

ESAME

L'esame consiste di una prova scritta ed una orale, che devono di regola essere sostenute nello stesso appello.

Lo studente può presentarsi alla prova scritta una volta per sessione.

È necessario prenotarsi preventivamente all'appello, consegnando lo statino presso la Segreteria del Dipartimento di Matematica, entro la data che verrà di volta in volta comunicata.

Se la prenotazione non viene disdetta, lo studente viene considerato come presente.

Durante le prove scritte è vietato l'uso di qualsiasi tipo di macchina calcolatrice e di computer; lo studente può utilizzare il libro di testo e le tavole.

L'orale non può essere sostenuto se la prova scritta risulta insufficiente.

L'eventuale esito negativo della prova orale comporta la ripetizione anche della prova scritta in una successiva sessione.

B 1902 **Fisica 2**

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); ++12 (nell'intero periodo)

Docente: Angelo Tartaglia (collab.: Elena Tresso)

Il corso ha per obiettivo quello di fornire agli studenti una conoscenza sufficientemente ampia dell'elettromagnetismo classico, dei principi della meccanica quantistica e della termodinamica. Il tramite tra l'elettromagnetismo e la meccanica dei quanti è costituito dallo studio delle proprietà e del comportamento fisico delle onde elettromagnetiche e dall'introduzione del concetto di fotone. Infine, per fornire le basi per lo studio del comportamento dei sistemi composti da un gran numero di elementi, si espongono le leggi della termodinamica dal punto di vista di un approccio statistico, con applicazioni alle proprietà magnetiche della materia e al corpo nero.

REQUISITI

È richiesta una preliminare conoscenza delle leggi della meccanica, dell'ottica geometrica e dell'elettrostatica nel vuoto (argomenti trattati nel corso di *Fisica 1*). È necessario saper effettuare derivate e integrali, conoscere le proprietà geometriche dei campi vettoriali, i principi dell'algebra delle matrici, i concetti di limite e di sviluppo in serie.

PROGRAMMA

Campo elettrostatico nei dielettrici: polarizzazione dei materiali isotropi, polarizzazione dei dielettrici anisotropi. Generalizzazione della legge di Gauss.

Correnti elettriche in regime stazionario. Legge di Ohm ed effetto Joule. Circuiti elementari, i principi di Kirchhoff. Cenni ai principi fisici alla base del funzionamento dei generatori di forza elettromotrice continua.

Il campo magnetostatico nel vuoto e le sue proprietà generali. La forza di Lorentz; moto di cariche in campi magnetici statici; il funzionamento del ciclotrone e dello spettrometro di massa; l'effetto Hall. Forze su correnti; l'amperometro. La legge di Ampère-Laplace e il calcolo di campi magnetici generati da correnti stazionarie; la relazione di Ampère.

Proprietà magnetiche della materia: diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo; i circuiti magnetici e la riluttanza.

Campi elettromagnetici dipendenti dal tempo. I fenomeni induttivi e la legge di Henry. La relazione di Ampère-Maxwell. Coefficienti di auto- e di mutua induzione. Cenni ai superconduttori e all'effetto Meissner. Energia del campo magnetico di una corrente e densità di energia.

Le equazioni di Maxwell. Le onde elettromagnetiche e le loro caratteristiche. Densità di energia dell'onda; momento trasportato e pressione di radiazione; il vettore di Poynting.

La propagazione delle onde in generale e delle onde elettromagnetiche in particolare. Il principio di Fermat e il principio di Huygens. L'assorbimento di un'onda in un conduttore. L'indice di rifrazione reale e complesso. Passaggio da un mezzo ad un altro: coefficienti di trasmissione e riflessione. Dipendenza dal riferimento: l'effetto Doppler.

Composizione di onde: i battimenti e la velocità di gruppo; l'interferenza tra due onde e la condizione di coerenza, l'interferenza tra le onde provenienti da n sorgenti coerenti, il

reticolo di diffrazione e il suo potere separatore, le onde stazionarie; i fenomeni di diffrazione di Fraunhofer e di Fresnel, i limiti fisici alle prestazioni degli apparati ottici. La polarizzazione della luce: birifrangenza naturale e artificiale; l'ellissoide di Fresnel; le lamine polarizzatrici; l'angolo di Brewster. Il dicroismo; l'attività ottica.

La quantizzazione dell'energia elettromagnetica e gli aspetti corpuscolari della radiazione: gli effetti fotoelettrico e Compton. Le proprietà ondulatorie della materia: diffrazione di elettroni. Gli operatori quantici di momento ed energia, il principio di corrispondenza.

Le relazioni di De Broglie. La funzione d'onda e l'equazione di Schrödinger. Interpretazione della funzione d'onda e sue proprietà, il principio di Pauli e il principio di indeterminazione. La buca di potenziale e la quantizzazione dell'energia. La barriera di potenziale e l'effetto *tunnel*. Cenni alle equazioni di Klein-Gordon e di Dirac.

Principi di meccanica statistica: sistemi a moltissimi gradi di libertà, spazio delle fasi, funzione di distribuzione. La distribuzione di Gauss. Il fattore di Boltzman e la funzione di partizione. Il concetto di entropia; la temperatura; il secondo principio della termodinamica. La conservazione dell'energia e il primo principio della termodinamica. I potenziali termodinamici; le relazioni di Maxwell e l'equazione di stato. Le trasformazioni termodinamiche e i cicli; il ciclo di Carnot e il rendimento delle macchine termiche; i cicli frigoriferi e le pompe di calore. Capacità termica e calori specifici; la conduzione del calore e l'equazione di Fourier. Il gas perfetto; il gas reale e le isoterme di Van der Waals. L'effetto magnetocalorico. Il paramagnete ideale e la legge di Curie.

Sistemi a numero variabile di particelle, il potenziale chimico. Le statistiche di Fermi e di Bose. Il gas di fotoni in equilibrio termico: il corpo nero, la distribuzione di Planck, le leggi di Kirchhoff, di Stephan-Boltzman e di Wien.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula sviluppano in forma di esercizi gli argomenti delle lezioni.

LABORATORIO

Le esercitazioni previste sono quattro.

1. Misura di resistenza mediante ponte di Wheatstone e misura di temperatura con sensore PT100.
2. 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 sensore a fotodiode).
4. Misura della diffusività termica di un provino metallico.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

A. Tartaglia, *Dall'elettrone all'entropia*, Levrotto & Bella, Torino.

A. Tartaglia, *300 esercizi svolti di elettromagnetismo e ottica*, Levrotto & Bella, Torino.

Testi ausiliari:

R. Feynman, *La fisica di Feynman*.

ESAME

L'esame consta di una prova scritta ed una orale. Lo studente che non consegua nello scritto una votazione pari o superiore a 15/30 è sconsigliato dal presentarsi all'orale. Una volta superato lo scritto, l'orale può essere sostenuto in qualunque appello compreso entro la fine del primo periodo didattico dell'anno accademico successivo. Oltre tale termine lo scritto deve comunque essere ripetuto.

B2170 Fondamenti di informatica

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4+2 (ore settimanali)

Docente: Piero Demichelis

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.

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

LABORATORIO. Esercizi sul sistema MS-DOS. Esercizi 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).

La prima prova deve essere svolta in un tempo prefissato (circa 1 ora). Gli elaborati saranno di norma corretti entro la settimana successiva e i risultati esposti nelle bacheche dei dipartimenti elettrici.

La seconda prova consiste nella realizzazione di un programma in FORTRAN: l'allievo dispone di un tempo prefissato (circa 2 ore) per lo svolgimento del tema proposto. Durante la verifica verrà analizzato tutto il materiale prodotto dall'allievo il quale dovrà motivare le scelte operate per la soluzione del problema. Verrà inoltre discussa la prima prova scritta con eventuale approfondimento orale, e infine attribuito il voto e subito registrato.

B3370 Meccanica razionale

Anno/periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docenti: Riccardo Riganti, Maria Rosa Rolando Mejnardi

Scopo del corso è l'acquisizione dei metodi matematici atti allo studio dei sistemi meccanici. Viene trattata la meccanica del corpo rigido e dei sistemi articolati, e 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

È opportuna una buona conoscenza degli argomenti di *Fisica 1*, *Analisi 1*, *Analisi 2*, e in particolare: funzioni di più variabili, serie di Taylor, equazioni e sistemi differenziali.

PROGRAMMA

1. Cinematica del corpo rigido. [18 ore]

Coordinate lagrangiane e sistemi olonomi. Vincoli di posizione e di rigidità. Classificazione dei vincoli per sistemi rigidi articolati. Gradi di libertà. Richiami di cinematica del punto. Formule di Poisson. Formula fondamentale dei moti rigidi nel piano e nello spazio. 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. Accelerazione del centro delle velocità. Polari in moto relativo. Profili coniugati e problemi di rotolamento con strisciamento.

2. Forze e reazioni vincolari. [6 ore]

I principi della dinamica. Classificazione delle forze attive. Baricentri. Forze d'inerzia. Reazioni vincolari in assenza di attrito: definizioni e proprietà. Coppie cinematiche senza attrito e riduzione del sistema di reazioni del vincolo.

3. Equazioni fondamentali della statica e della dinamica. [12 ore]

Teoremi della quantità di moto e del momento risultante delle quantità di moto. Ellissoide d'inerzia. Momenti principali d'inerzia. Momento risultante delle quantità di moto per sistemi rigidi. 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; conservazione della quantità di moto e del momento angolare. Dinamica relativa ed equilibrio relativo.

4. Lavoro ed energia. [8 ore]

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.

5. *Meccanica lagrangiana e hamiltoniana.* [6 ore]

Equazioni di Lagrange per sistemi olonomi con n gradi di libertà. Momenti cinetici, energia generalizzata ed equazioni di Hamilton. Analisi del moto nello spazio delle fasi. Oscillatore lineare; pendolo non lineare. Teorema di Liouville.

6. *Stabilità e vibrazioni.* [8 ore]

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.

7. *Analisi del moto.* [6 ore]

Ricerca delle soluzioni del moto e metodi di integrazione numerica di sistemi dinamici non lineari (cenni). Biforcazioni di soluzioni di equilibrio stazionarie. Cicli limite. Biforcazione di Hopf. Mappe di Poincaré e attrattori periodici, quasi-periodici, caotici.

8. *Moti rigidi particolari: rotori e giroscopi.* [8 ore]

Moto di un solido con asse fisso. Equilibramento statico e dinamico di rotori. Equazioni di Eulero per il moto di un solido con punto fisso. Sistemi a struttura giroscopica e moti di precessione regolare. Coppia giroscopica e fenomeni giroscopici elementari.

ESERCITAZIONI

Agli studenti, suddivisi in 2 squadre, sono proposti esercizi e problemi applicativi sui seguenti argomenti:

Cinematica del punto e del corpo rigido. [12 ore]

Sistemi di vettori applicati e riduzione delle forze d'inerzia. [4 ore]

Problemi di statica e dinamica con calcolo di reazioni vincolari. [10 ore]

Principio dei lavori virtuali; conservazione dell'energia. [4 ore]

Energia cinetica; equazioni di Lagrange e di Hamilton. [6 ore]

Stabilità di configurazioni di equilibrio. [6 ore]

Linearizzazione delle equazioni del moto e calcolo di frequenze proprie di vibrazione. [6 ore]

LABORATORIO [8 ore, facoltative]

Nell'ultimo mese del corso gli studenti potranno svolgere, con l'assistenza dei docenti, un ciclo di esercitazioni con *personal computer* presso il LAIB 3, riguardanti l'analisi del moto di sistemi meccanici non lineari.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

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

Testi ausiliari:

Bampi, Morro, *Problemi di meccanica razionale*, ECIG, Genova, 1984.

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

C. Cercignani, *Spazio, tempo, movimento*, Zanichelli, Bologna, 1976.

M. Fabrizio, *Introduzione alla meccanica razionale e ai suoi metodi matematici*, Zanichelli, Bologna, 1994.

Muracchini, Ruggeri, Seccia, *Laboratorio di meccanica razionale*, Esculapio, Bologna, 1991.

S. Nocilla, *Meccanica razionale*, Levrotto e Bella, Torino, 1981.

È disponibile, presso la Segreteria didattica del Dipartimento di Matematica, una raccolta dei temi d'esame assegnati negli appelli degli ultimi anni accademici.

È anche disponibile un dischetto per PC IBM compatibile, con programmi predisposti a cura del docente per l'attività di laboratorio e per l'approfondimento degli argomenti trattati nel corso (rivolgersi al prof. Riganti).

ESAME

L'esame consiste di una prova scritta e una orale. La prova scritta può essere sostenuta una sola volta in ciascuna delle sessioni d'esame. È consentito effettuare la prova scritta nella terza sessione e concludere l'esame con la prova orale nella quarta sessione. È anche consentito sostenere la prova scritta e la prova orale in appelli diversi della medesima sessione.

B 1790 Elettrotecnica

Anno: periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Mario Chiampi

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 quasistazionario 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]

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

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

Campo magnetico statico e quasistazionario, 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]

ESERCITAZIONI

Analisi dei circuiti in regime stazionario e quasistazionario. [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.

B4620 **Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali**

Anno: periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Fedele Abbattista (collab.: Alessandro Delmastro)

REQUISITI. *Chimica*

PROGRAMMA

Generalità sui combustibili.

Potere calorifico superiore e inferiore; aria teorica di combustione; composizione e volume dei fumi; temperatura teorica di combustione; fenomeni di dissociazione di CO₂ e H₂O; aria in eccesso; limiti di infiammabilità; controllo della combustione attraverso analisi chimiche e strumentali dei fumi.

Descrizione dei vari tipi di combustibili.

Combustibili solidi; i carboni fossili; cokificazione del litantrace. Combustibili liquidi: Distillazione del petrolio grezzo; processi di *cracking* e *reforming*; raffinazione chimica dei derivati del petrolio. Carburanti: benzine; potere antidetonante; numero di ottano; curva di distillazione; additivi antidetonanti; inquinamento da incombusti e NO_x. Cherosene per uso aeronautico: caratteristiche tecniche. Oli per *diesel*: caratteristiche tecniche; qualità di accensione; numero di cetano. Combustibili gassosi: gas naturali; metano; gas di gasogeno; gas d'aria; gas d'acqua; gas misto.

*Lubrificanti.**Diagrammi di stato.*

Interpretazione di diagrammi di stato di sistemi a due e a tre componenti con riferimento a sistemi ceramici e metallici.

Materiali ceramici.

Principi generali sulla fabbricazione di materiali ceramici: porcellane; ceramiche tecniche: materiali ceramici per alte temperature; refrattari silicei, silico-alluminosi, alluminosi; refrattari a base di MgO; refrattari cromitici; refrattari a base di ossido di zirconio; refrattari a base di carburo di silicio; prove tecniche sui refrattari.

Materiali metallici.

Minerali di ferro e fabbricazione della ghisa; conversione della ghisa e fabbricazione dell'acciaio; diagramma di stato Fe-Fe₃C.

Caratteristiche meccaniche dell'acciaio.

Durezza, carico di rottura, carichi di snervamento, resilienza, allungamento, strizione.

Trattamenti termici.

Trasformazioni dell'austenite al raffreddamento; ricottura; normalizzazione; tempra martensitica; trattamenti di bonifica degli acciai; curve TTT e CCT.

Indurimento superficiale degli acciai.

Cementazione; nitrurazione.

Acciai speciali.

Acciai al cromo; diagramma di stato Fe-Cr; acciai ferritici al cromo; acciai al nichel; diagramma di stato Fe-Ni; acciai autotemperanti; acciai austenitici al nichel.

Metallurgia dell'alluminio.

Alluminio di prima fusione; alluminio iperpuro; leghe leggere a base di alluminio; leghe da fonderia: leghe alluminio-silicio e leghe alluminio-rame; leghe da lavorazione plastica; leghe da bonifica; trattamento termico del duralluminio.

Metallurgia del rame.

Leghe a base di rame, ottoni del primo e del secondo titolo; bronzi.

Metallurgia del magnesio.

Leghe superleggere.

Materie plastiche.

Polimeri e polimerizzazione; polimerizzazione per addizione, policondensazione e poliaddizione; tecniche di polimerizzazione delle materie plastiche. Resine termoplastiche: polietilene, polipropilene, polistirene, poliacriliche, fluorurate, poliammidiche (nylon) e poliacetaliche. Resine termoindurenti: fenoliche, poliesteri (sature e insature), poliuretaniche, epossidiche, amminiche e siliconi.

ESERCITAZIONI

Calcoli sui combustibili: potere calorifico superiore e inferiore di combustibili solidi, liquidi e gassosi; aria teorica di combustione; composizione dei fumi; aria in eccesso e calcolo dell'eccesso di aria in base alla percentuale di CO₂ e/o di O₂ nei fumi; temperatura teorica di combustione; influenza dei fenomeni dissociativi di CO₂ e H₂O sui valori della temperatura teorica di combustione; bilancio termico di una combustione; calcolo del potenziale termico di carburanti liquidi e gassosi.

BIBLIOGRAFIA

Cesare Brisi, *Chimica applicata*, Levrotto e Bella, Torino.

ESAME

L'esame si articola in due prove: 1, prova scritta (calcoli sui combustibili), 2, prova orale. L'esame è valido con il superamento di entrambe le prove. L'insufficienza conseguita nella prima prova non comporta automaticamente il fallimento dell'esame ma il candidato dovrà eseguire esercizi di calcolo nella prova orale.

B0050 Aerodinamica

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); ++4 (nell'intero periodo)
 Docente: Fiorenzo Quori (collab.: Renzo Arina)

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

1. 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.

2. 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.

3. 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 delle espressioni analitiche delle dette funzioni per: corrente uniforme, sorgente e pozzo, vortice, doppietta. Polidromia. Il cilindro circolare: campo di moto esterno. Determinazione dei punti di arresto e della distribuzione di pressione. Cilindro con circuitazione. Teorema di Kutta-Joukowski.

4. 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.

5. *Teoria dei profili sottili subsonici* [8 ore]

Ipotesi di Glauert. Distribuzioni di sorgenti e di vortici bidimensionali. Calcolo delle velocità dovute 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 profili sottili.

6. *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.

7. *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.

8. *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.

9. *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.

10. *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.

11. *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.

ESERCITAZIONI

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

LABORATORIO

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 0012 in una piccola galleria del vento didattica.

TESTO DI RIFERIMENTO

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

B2060 Fisica tecnica

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); ++6 (nell'intero periodo)

Docente: Giuseppe Ruscica

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*). 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;
- studiare le modalità di scambio termico ed i dispositivi che ne consentono la realizzazione ed il controllo;
- studiare le leggi fondamentali della termofluidodinamica elementare ed alcune semplici applicazioni.

PROGRAMMA

1. Termodinamica. Concetti generali e nomenclatura. [4 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.

2. Temperatura, lavoro e calore. [4 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.

3. 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 o della potenza meccanica. Calcolo del lavoro scambiato in un ciclo.

4. *Flusso termico e calore per i corpi omogenei.* [4 ore]

Concetto di calore e di flusso termico. 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.

5. *Primo principio della termodinamica.* [4 ore]

Formulazione per una trasformazione ciclica. Formulazione per una trasformazione generica. Energia interna. Energia interna e sue proprietà. Definizione di entalpia. estensione del I Principio ai sistemi aperti. Entalpia e sue proprietà. Relazione generale tra le capacità termiche. Applicazione ai gas ideali.

6. *Secondo principio della termodinamica.* [10 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 e non dal fluido. Fattore di Carnot. Temperatura e scala termodinamica. Equazione di Clausius-Clapeyron e funzione entropia, unità di misura. Definizione della funzione di accumulo e formulazione generale del II Principio. Conversioni energetiche e teorema dell'energia utilizzabile.

7. *Gas reali.* [4 ore]

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

8. *Cicli termodinamici.* [6 ore]

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

9. *Miscele di aria e vapore.* [2 ore]

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

10. *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.

11. *Cenni di fluidodinamica.* [10 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.

12. *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. Rotametri e tubo di Pitot.

13. 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.

14. Trasmissione del calore: convezione. [2 ore]

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

15. Trasmissione del calore: irraggiamento. [2 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.

16. Dispositivi di scambio termico. [6 ore]

Scambio termico liminare e globale. Analogia elettrica, 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).

ESERCITAZIONI

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 I Principio per i sistemi chiusi. [2 ore]

Esercizi applicativi sul I Principio per i sistemi aperti. [4 ore]

Esercizi applicativi sul II Principio per i sistemi chiusi. [4 ore]

Esercizi applicativi sul II Principio per i sistemi aperti. [4 ore]

Applicazione del teorema dell'energia utilizzabile alle trasformazioni ed ai cicli. [2 ore]

Calcolo dei capisaldi di un ciclo a gas con rigenerazione e del suo rendimento. [2 ore]

Calcolo dei capisaldi di un ciclo a vapore con spillamenti e del suo rendimento. [2 ore]

Esercizi di fluidodinamica, regime di moto e calcolo delle portate e delle perdite di carico. [2 ore]

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 media logaritmica, del coefficiente globale e della superficie di scambio. Applicazione della teoria dei NUT. [2 ore]

Esercizi sull'irraggiamento tra corpi neri e corpi grigi con applicazione del metodo delle reti equivalenti. [2 ore]

LABORATORIO

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.

BIBLIOGRAFIA

Appunti delle lezioni e materiale didattico distribuito durante il corso.

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

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

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

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

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 si svolge in due fasi scritte: la prima di esonero, nella settimana precedente Natale, riguarda solo gli argomenti di termodinamica e consiste nella soluzione numerica di due problemi simili a quelli affrontati nelle esercitazioni e nella trattazione esauriente e completa di tre domande di teoria. La seconda, nelle date di appello, riguarda solo gli argomenti di fluidodinamica e di trasmissione del calore e consiste nella soluzione numerica di due problemi simili a quelli affrontati nelle esercitazioni e nella trattazione esauriente e completa di tre domande di teoria. Le due prove si svolgono nelle aule che di volta in volta verranno indicate nella bacheca didattica del Dipartimento, il tempo previsto per ogni prova è di tre ore.

La valutazione di ogni singola prova è positiva se l'allievo dimostra di conoscere esaurientemente almeno due argomenti di teoria e risolve correttamente almeno un esercizio.

Il voto finale è basato su un giudizio complessivo, sia sull'attività svolta durante l'anno, sia sui risultati delle due prove.

B4600 Scienza delle costruzioni

Anno: periodo 3:1 - Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+5 (ore settimanali)

Docente: Silvio Valente

Scopo del corso è 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), bidimensionali (lastre o piastre) 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

Aver frequentato i corsi di *Analisi 1 e 2*, *Geometria*, *Fisica 1*, *Meccanica razionale*.

PROGRAMMA

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

2. 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]

3. 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]
4. 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]
5. Potenziale elastico; potenziale elastico complementare; legge costitutiva elastica: elasticità lineare; isotropia; modulo di Young e coefficiente di Poisson; problema elastico; equazioni di Lamè in forma operatoriale; teorema di Clapeyron; teorema di Betti. [4 ore]
6. 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]
7. 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). [10 ore]
8. Teoria tecnica della trave: rapporto tra deformazione flettente e tagliante; equazioni cinematiche, statiche e costitutive per la trave (rettilinea e curva); equazione della linea elastica: spostamenti e rotazioni negli schemi elementari; composizione di rotazioni e spostamenti. [4 ore]
9. Il teorema di Castigliano, il teorema di Menabrea. Calcolo automatico, con il metodo degli spostamenti, di travature reticolari, telai piani e spaziali, grigliati. [5 ore]
10. 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 (flessione elasto-plastica, cerniera plastica, analisi evolutiva di strutture iperstatiche); meccanica della frattura (analisi energetica di Griffith). [8 ore]
11. Metodo degli elementi finiti dedotto dal principio dei lavori virtuali; matrice di rigidità locale e globale; condizioni al contorno. [4 ore]
12. Lastre inflesse: ipotesi cinematica di Kirchhoff; equazioni cinematiche, statiche e costitutive, equazione di Lamè, equazione di Sophie-Germain. [2 ore]

ESERCITAZIONI

1. Cinematica dei sistemi di travi: gradi di libertà, vincolo di rigidità, linearizzazione del vincolo, vincoli piani, maldisposizione dei vincoli, atto di moto di un corpo rigido. Statica dei sistemi di travi: studio algebrico e studio grafico, teoremi delle catene cinematiche. [10 ore]
2. Dualità statico-cinematica, statica grafica, curva delle pressioni, caratteristiche interne della sollecitazione, equazioni indefinite di equilibrio per le travi curvilinee piane. [6 ore]
3. 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]

4. 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; circoli di Mohr; simmetria assiale e polare. [6 ore]
5. Esercizi sul solido di Saint Venant. [7 ore]
6. Il principio dei lavori virtuali applicato ai sistemi di travi: determinazione degli spostamenti nelle strutture isostatiche e risoluzione delle strutture iperstatiche. [4 ore]
7. Sistemi di travi iperstatici: simmetria ed anti-simmetria assiale e polare. [2 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. [8 ore]
9. Esercizi sull'instabilità dell'equilibrio elastico. [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Carpinteri, *Scienza delle costruzioni. Vol. I e II*, Pitagora, Bologna, 1994.

Testi ausiliari:

M. Capurso, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna, 1971.

A. Di Tommaso, *Fondamenti di scienza delle costruzioni*, Pàtron, Bologna, 1981.

F. Levi, P. Marro, *Scienza delle costruzioni*, Levrotto & Bella, Torino, 1986.

P. Cicala, *Scienza delle costruzioni. Vol. 1 e 2*, Levrotto & Bella, Torino, 1981.

Per le esercitazioni saranno utili i seguenti volumi:

A. Carpinteri, *La geometria delle masse*, Pitagora, Bologna, 1983.

E. Viola, *Esercitazioni di scienza delle costruzioni. Vol. 1 e 2*, Pitagora, Bologna, 1985.

ESAME

La prova scritta è suddivisa in tre parti: la risoluzione di una struttura isostatica, di una struttura iperstatica e di una sezione di un solido di Saint Venant. Coloro che, nella prova scritta, abbiano conseguito una valutazione maggiore o uguale a 15/30 sono ammessi a sostenere la prova orale.

B 1030 Costruzioni aeronautiche

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); ++2 (nell'intero periodo)

Docente: Piero Morelli (collab.: Marco Di Sciuva, Ugo Icardi)

Il corso intende introdurre gli allievi nel campo delle costruzioni aeronautiche, partendo dalla classificazione degli aeromobili e focalizzando poi l'attenzione sui velivoli.

Nella prima parte (strutturale) del corso, dopo alcuni richiami essenziali di meccanica e di aerodinamica applicata, si prende in considerazione il velivolo come struttura e se ne definiscono le condizioni di sollecitazione in volo e al suolo. Definita la classica struttura a semiguscio, dopo opportuni richiami di scienza delle costruzioni sulle caratteristiche elementari di sollecitazione, vengono illustrate le metodologie di determinazione dei campi di tensione e di deformazione nei limiti della teoria delle travi, ma con un particolare riferimento alle strutture a parete sottile e ai connessi problemi di instabilità elastica su aste e su pannelli.

Nella seconda parte (descrittiva) del corso vengono illustrate, con l'ausilio di numerose proiezioni, le strutture dei velivoli, i loro impianti ed installazioni.

REQUISITI

Scienza delle costruzioni. Nozioni basilari di aerodinamica tecnica (caratteristiche aerodinamiche dei profili alari, delle ali e delle eliche) e di meccanica del volo (prestazioni del velivolo nel volo a regime, stabilità e manovrabilità).

PROGRAMMA

Classificazione degli aeromobili. [1 ora]

Richiami di meccanica ed aerodinamica. [5 ore]

Parte strutturale.

Condizioni di carico in volo (diagrammi $n-V$) e al suolo, assunte a base dell'analisi strutturale. [6 ore]

Materiali aeronautici (legno, leghe di magnesio, alluminio, titanio, acciai, materiali compositi) e loro caratteristiche rilevanti ai fini dell'analisi strutturale. [7 ore]

Richiami e complementi di scienza delle costruzioni e di teoria dell'elasticità sulle caratteristiche elementari di sollecitazione. [6 ore]

Definizione delle strutture a semiguscio e analisi dei loro elementi sottili ai fini della determinazione dei campi di tensione e di deformazione. [9 ore]

Caso particolare delle travi rastremate. [1 ora]

Instabilità elastica generale, locale e torsionale delle aste compresse. [5 ore]

Instabilità elastica dei pannelli soggetti a compressione e a taglio. Pannelli in condizioni ipercritiche; sollecitazione indotte negli elementi di riquadro. [9 ore]

Parte descrittiva.

Ala. Strutture mono-, bi-, tri- e multilongherone. Scomponibilità. Attacchi a sforzi concentrati e diluiti. Particolarità di progetto. [5 ore]

Alettoni. Ipersostentatori di bordo d'attacco e bordo d'uscita. *Jet flap*. Controllo dello strato limite. Aerofreni d'atterraggio e da picchiata. [7 ore]

Formazioni di ghiaccio e impianti antighiaccio. [2 ore]

Fusoliere. Varietà e funzionalità. Carlinghe, travi di coda. Strutture a traliccio e a semiguscio. Collegamenti ala-fusoliera. Cabine pressurizzate. [2 ore]

Impennaggi: architetture a croce, a T , a V . Varie forme di compensazione aerodinamica. Alette correttrici, compensatrici e servomotrici. Particolarità strutturali. Equilibramento statico e dinamico delle superfici di governo. [3 ore]

Organi di comando. Comandi principali di volo. Loro requisiti. Comando differenziale alettoni. Servocomandi puri ed assistiti. Particolarità delle trasmissioni. [4 ore]

Gruppi motopropulsori, loro varietà e modalità di installazione. Castelli motore, sospensioni antivibranti. Impianti di raffreddamento, alimentazione, lubrificazione.

Impianti combustibile. Serbatoi. *Cross feed*. [3 ore]

Organi per l'involo e l'arrivo. Scafi e galleggianti. Carrelli normale e triciclo: confronto. Sospensioni. Ammortizzatori oleopneumatici e oleodinamici. Ruote, freni.

Dispositivi *antiskid*. Carrelli fissi e retrattili. [5 ore]

Impianti oleodinamico ed elettrico. [1 ora]

Impianti di condizionamento e pressurizzazione delle cabine. Surossigenazione. [1 ora]

ESERCITAZIONI

Analisi degli schemi progettuali del velivolo Pilatus Turboporter. [8 ore]

Richiami sui diagrammi taglio-flessione di travi isostatiche e colloqui sui disegni. [8 ore]

Tracciamento diagrammi di manovra e raffica. [4 ore]

Ripartizione della portanza tra ala e coda. [4 ore]

Flessione di sezione alare a semiguscio. [4 ore]

Analisi dello stato di sollecitazione di piastra di attacco ala-fusoliera. [4 ore]

Flussi di taglio e gradiente di torsione su strutture a semiguscio mono- e pluricellulari. [4 ore]

Valutazione del carico critico di aste compresse in diversi casi di instabilità dell'equilibrio elastico. [4 ore]

Valutazione del carico critico di pannelli compressi. [4 ore]

Campi di tensione nei pannelli di strutture a semiguscio soggetti a taglio. [4 ore]

Prove di laboratorio. [8 ore]

BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

ESAME

Prova orale sulla parte strutturale del corso.

Prova scritta, con schizzi a mano libera e testo illustrativo, sulla parte descrittiva.

Le due prove sono liberatorie delle rispettive parti e oggetto di valutazione separata. Il voto finale è la media aritmetica dei voti attribuiti alle due prove, eventualmente incrementato in funzione della valutazione degli elaborati delle esercitazioni.

B 3210 Meccanica applicata alle macchine

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Furio Vatta

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

REQUISITI. È indispensabile la conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di *Mecchanica razionale* e *Scienza delle costruzioni*.

PROGRAMMA

Equazioni cardinali della dinamica. [14 ore]

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. [8 ore]

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. [10 ore]

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. [8 ore]

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

Attrito. [4 ore]

Attrito radente: leggi di Coulomb. Sistema vite-madrevite: reversibilità del moto. Attrito ai perni. Attrito volvente e cuscinetti a rotolamento.

Freni. [4 ore]

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. [4 ore]

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

Ruote dentate e rotismi. [10 ore]

Ruote cilindriche a denti diritti; 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. [10 ore]

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.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni si effettuano in aula: agli allievi vengono assegnati alcuni esercizi da svolgere; tali esercizi sono successivamente affrontati e discussi dal docente. In aula è presente il docente titolare del corso, 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 ad esercitazione, e deve esporre alcune delle trattazioni analitiche che sono state sviluppate dal docente.

B1710 Elettronica applicata

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6(4)+2+(4) (ore settimanali)

Docente: Leonardo Reyneri

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base per la comprensione del funzionamento di apparecchiature elettroniche elementari sia di tipo analogico sia di tipo digitale. Può venire grosso modo diviso in tre parti principali, corrispondenti approssimativamente all'analisi dei componenti e circuiti elementari, 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 ore]
Struttura dell'atomo e diagrammi a bande. Conduzione nel semiconduttori. 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.

Dispositivi attivi elementari. [10 ore]

Diodo a semiconduttore e circuiti raddrizzatori. Diodi Zener e circuiti limitatori. Modello del diodo per piccolo segnale. Fotodiodi. Transistore bipolare, principio di funzionamento e caratteristiche. Modelli del transistore in continua e per piccolo segnale. Transistore in alta frequenza e amplificatori elementari a transistori. Transistori FET e MOSFET.

Amplificatori base a transistori. [8 ore]

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

Amplificatori operazionali. [12 ore]

Modello completo. Effetti su guadagno, banda, linearità della controreazione. Amplificatori di tensione e di corrente. Sommatori. Diodi ideali. Standard 4-20 mA. Condizionamento di sensori. Stabilità, compensazione. Oscillatori astabili e sinusoidali.

Elaborazione digitale dei segnali. [10 ore]

Algebra di Boole. Circuiti combinatori e sequenziali.

Convertitori e sensori. [8 ore]

Convertitori analogico / digitali. Convertitori digitali / analogici. Panoramica sui principali tipi di sensori.

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.

LABORATORIO

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

1. Circuiti RC passa-alto e passa-basso.
2. Circuiti a diodi raddrizzatori e limitatori.
3. Amplificatore a transistor con guadagno 10.
4. Amplificatore a guadagno 10 con operazionale.
5. Generatore di forma d'onda quadra e triangolare.
6. Circuiti logici.

BIBLIOGRAFIA

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

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

B3110 Macchine

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); ++6 (nell'intero periodo)

Docente: Patrizio Nuccio

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

1. Richiami di termodinamica. [4 ore]

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". Il 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 applicativi del I Principio della termodinamica in forma lagrangiana.

2. Moto dei fluidi nei condotti. [8 ore]

Classificazione dei rendimenti e dei lavori per le macchine motrici ed operatrici; consumi specifici di calore e di combustibile. Lavoro di recupero e di controrecupero 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, 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 isentropico di un diffusore e di un effusore.

3. *Impianti a vapore.* [7 ore]

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.

4. *Turbine.* [10 ore]

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

5. *Turbocompressori.* [11 ore]

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

6. *Compressori volumetrici.* [8 ore]

Compressori alternativi: ciclo della macchina ed espressione del lavoro nel caso ideale e con perdite. Vari 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.

7. *Turbopompe.* [4 ore]

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

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

Sceita del ciclo ideale per motori ad accensione comandata e ad accensione per compressione; espressione del rendimento ideale per i cicli Otto, Diesel e Sabath. 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 nei motori ad accensione comandata e 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". Apparat di alimentazione per motori ad accensione comandata: carburatore elementare.

ESERCITAZIONI [40 ore]

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 anni precedenti saranno resi disponibili durante il semestre.

LABORATORIO [6 ore]

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.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

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

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

Testi ausiliari:

A.E. Catania, *Complementi di Macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1979.

A. Capetti, *Motori termici*, UTET, 1967.

A. Capetti, *Compressori di gas*, 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.

B3300 Meccanica del volo

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Guido de Matteis

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, sistemi di controllo reversibili ed irreversibili.

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. Sovrapotenza al decollo.

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. Il fenomeno del superstallo. Stabilità statica latero-direzionale: influenza del diedro e della freccia alare. Controllo latero-direzionale. Funzioni e requisiti del timone: volo con spinta asimmetrica, inversione del momento di cerniera.

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. Stabilità dinamica longitudinale a comandi liberi: modi caratteristici.

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

Risposta ai controlli. Risposta alla raffica a gradino: fattore di contingenza sotto raffica, diagramma di raffica. Le qualità di volo: criterio di Cooper-Harper.

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

Volo con spinta asimmetrica. Condizioni di volo non simmetrico stabilizzato: variabili di controllo in derapata stazionaria ed 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.

ESERCITAZIONI

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.

Calcolo corsa di decollo con metodo approssimato e mediante soluzione numerica delle equazioni del moto. Corsa di decollo in presenza di vento.

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

Determinazione, con metodo grafico, del rapporto volumetrico di coda per un moderno velivolo da trasporto. [2 ore]

Determinazione della traiettoria di volo di un velivolo con un metodo numerico. [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, *Dynamics of atmospheric flight-stability and control*, Wiley, New York, 1982.**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 circa, lo studente deve rispondere a domande, relative agli argomenti svolti durante le lezioni e le esercitazioni, in numero variabile da un minimo di cinque ad un massimo di sette. 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.

B 0940**Costruzione di macchine**

Anno:periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Muzio M. Gola (collab.: Cristiana Delprete)

PROGRAMMA

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 progettista; autovalori e autovettori, invarianti; cedimento duttile e fragile, normativa sulle relative prove di laboratorio; ipotesi di rottura o snervamento ai fini del calcolo di resistenza; allungamento, significato fisico della curva sperimentale tensione-deformazione; resistenza dei materiali. [4 ore]

Cinematica del corpo rigido e del corpo deformabile, tensore della deformazione; significato fisico del tensore della deformazione, decomposizione polare e definizione quadratica; estensimetria, caratteristiche degli estensimetri, influenza della temperatura, auto-compensazione, montaggi (1/4 ponte, 1/2 ponte, ponte completo), problemi dei cavi; deduzione della tensione; utilizzazione come trasduttori; rosette estensimetriche. [4 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; effetti delle condizioni superficiali derivanti da lavorazioni meccaniche e da trattamenti termici; dispersione e coefficienti di sicurezza; fatica cumulata; effetto d'intaglio e fatica: approccio elementare, teoria del volume elementare, gradiente relativo. [4 ore]

Teoria del problema di contatto localizzato, soluzione di Hertz; problemi speciali dei cuscinetti a rotolamento; scelta e calcolo da catalogo; problemi speciali dei cuscinetti per impiego nei turbomotori aeronautici: verifica di cuscinetti fortemente caricati e ad alta velocità. [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]

Leggi costitutive dei materiali isotropi, cenni all'anisotropia; calcolo della energia di distorsione e delle formule per la relativa ipotesi di incipiente snervamento; definizioni varie dei margini di sicurezza, loro valori (fattori di sollecitazioni varie dei margini di sicurezza, loro valori; fattori di sollecitazione, di carico, statistico). [2 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; ritiro; diluizione in saldature Fe-inox; problemi speciali delle saldature inossidabili; calcolo ISO-UNI e calcolo ASME dei giunti di testa; calcolo ISO-UNI dei cordoni d'angolo con riferimento alla CNR-UNI 10011/88 (statico e a fatica); fatica cumulata, *range pair*, *rainflow*. [6 ore]

Difettologia, particolare riferimento a fusioni e a giunti saldati; indicazioni normative per l'accettabilità dei difetti (UNI, ISO, ASME); relazione fra difettosità e calcolo a resistenza; principali metodi per la rilevazione dei difetti (raggi X, ultrasuoni, magnetoscopia, liquidi penetranti), tipologie principali delle rilevazioni, possibili errori di rilevazione. [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. [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]

Calcolo dei denti degli ingranaggi, problemi di fatica, usura, pressione hertziana; corruzione delle ruote cilindriche a denti diritti ed elicoidali, ruote "zero" e accoppiamenti; taglio e ingranamento; strisciamento specifico. [4 ore]

Calcolo matriciale delle strutture, caso delle barre e delle travi; assemblaggio della struttura e mappa; vettori dei carichi nodali equivalenti a fenomeni distribuiti; integrazione esatta; leggi di spostamento assegnate, costruzione della matrice di rigidità e dei vettori dei carichi nodali equivalenti tramite la equazione dei lavori virtuali. [4 ore]

Molle (cenni sui problemi di progettazione). [2 ore]

Consulenza in aula del docente. [2 ore]

ESERCITAZIONI

In aula, laboratorio o laboratorio aperto. Al laboratorio aperto si accede prenotandosi per squadre (minimo tre allievi, massimo quattro squadre) e per gruppi di 2 ore, presso il tecnico laureato, laboratorio del Dipartimento di Meccanica.

Introduzione all'insegnamento, modalità di svolgimento delle esercitazioni; esercizi di riepilogo riguardanti i requisiti minimi sul calcolo strutturale e la resistenza dei materiali. [4 ore]

Esercizi su stato di tensione, sollecitazione e resistenza dei materiali; applicazione al calcolo di resistenza di un albero di trasmissione recante ruote dentate elicoidali; redazione di una breve relazione tecnica di verifica del detto albero. [4 ore]

(Aula, esercizi su estensimetria; laboratorio di estensimetria organizzato su prenotazione, sotto forma di laboratorio aperto, fino al 14/5; occorre aver eseguito l'unica esercitazione proposta).

Esercizi sul calcolo a fatica di elementi meccanici; applicazione al calcolo di un albero di trasmissione; osservazione al microscopio a fibre ottiche di varie superficie di rottura a fatica. [4 ore]

Esercizi sul calcolo di cuscinetti a catalogo; applicazione ad un albero di trasmissione con ingranaggi. [4 ore]

Calcolo di un accoppiamento forzato mozzo-albero, con riferimento tecnologici; calcolo di un cuscinetto a rulli ad alta velocità per motore aeronautico e redazione di relazione tecnica. [4 ore]

Esercizi sul calcolo di cordoni d'angolo: sollecitazioni statiche e sollecitazioni di fatica; esercizi sul calcolo di saldature di testa. [4 ore]

Laboratorio a squadre: tecniche di controllo non distruttivo: magnetoscopia, raggi X, liquidi penetranti; laboratorio ultrasuoni organizzato su prenotazione, sotto forma di laboratorio aperto, fino alla fine del periodo didattico; occorre aver eseguito almeno una esercitazione tra quelle proposte. [4 ore]

Esercizi sulla progettazione con meccanica della frattura lineare elastica. [4 ore]

Calcolo completo di un accoppiamento avvitato, statico e a fatica, con redazione di relazione tecnica. [4 ore]

Calcolo di resistenza statica e a fatica di un ingranaggio con dentature corrette; strisciamento specifico. [4 ore]

Esercizi su problemi relativi al calcolo strutturale tramite impostazione matriciale. [4 ore]

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 possa dare prova di conoscere a fondo la soluzione dei problemi per avervi partecipato.

BIBLIOGRAFIA. Dispense del corso.

ESAME

Prova d'esame scritta, composta di 60 quesiti dei quali:

– 40 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 punto;

– 20 esercizi elementari (tipicamente coinvolgenti una formula sola o un solo diagramma) con una risposta numerica, con la seguente regola di punteggio: risposta giusta entro una fascia del 5 % 2 punti, risposta omessa o errata 0 punti.

Tempo a disposizione: 3 ore.

Passaggio da punteggio a voto: in base a curve di distribuzione statistica derivate da precedente esperienza: voto = punti/2, corrispondente a 30/30 sul 75 % del massimo di punti (80).

L'esame scritto viene sostenuto senza l'aiuto di appunti o 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. L'esaminando si può ritirare entro mezz'ora dall'inizio della prova, e in tal caso non verrà considerato presente; dopo tale termine l'esaminando è definitivamente presente alla prova scritta: verrà ritirato lo statino e l'esame verrà registrato comunque. In caso di non superamento dell'esame, per la ripetizione valgono le regole di Facoltà.

Se il voto della prova scritta è inferiore a 27/30 (escluso) l'allievo potrà trasformarlo direttamente in voto definitivo previa una verifica orale durante la quale egli darà prova di conoscere il contenuto delle esercitazioni svolte durante l'anno conformemente al fatto di aver personalmente contribuito al loro svolgimento.

L'allievo che lo desidera può comunque sostenere la prova orale. Per voti uguali o maggiori di 27/30 si chiede all'allievo, oltre alla detta verifica delle esercitazioni, anche una prova orale sugli argomenti illustrati a lezione.

In ogni caso prova scritta ed eventuale prova orale verranno mediate.

B2220 **Gasdinamica**

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Massimo Germano (collab.: Gaetano Iuso)

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]

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.

B5660 Tecnologie delle costruzioni aeronautiche

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Margherita Clerico

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

Tipologia e tecnologie di fabbricazione degli elementi costruttivi degli aeromobili. [15 ore]

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 ore]

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 ore]

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 ore]

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); trattamenti superficiali. La pulitura della superficie. Le lavorazioni ad asportazione di truciolo. I processi di ricopertura.

I materiali e le loro proprietà. [20 ore]

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.

ESERCITAZIONI

Disegno di alcune parti e attrezzature di produzione. [5 ore]

Cicli di lavorazione. [5 ore]

Verifica di diversi organi e scelta del materiale più adatto. [10 ore]

BIBLIOGRAFIA

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

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

M. Clerico, *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.

B3830 Motori per aeromobili

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Giuseppe Bussi (collab.: Dario Pastrone)

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

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. [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. [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. [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. [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. [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. [12 ore]

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

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

Cenni al sistema combustibile e al controllo del combustibile. Miscellanea: invertitori di spinta, silenziatori, avviatori e avviamento, prove al banco. [6 ore]

ESERCITAZIONI

Calcolo, in sede di progetto, delle prestazioni di turbine a gas, turboreattori e autoretatori. 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.

LABORATORIO

Dimostrazione al banco del comportamento dello stabilizzatore di fiamma su modello di autoreattore. Gli allievi vengono raggruppati in squadre di 10 unità.

BIBLIOGRAFIA

È disponibile una dispensa, a copertura del primo capitolo del corso:

G. Bussi, *La spinta e il suo costo*, Levrotto & Bella.

Testi ausiliari:

The jet engine, Rolls-Royce, Derby.

Hill-Peterson, *Mechanics and thermodynamics of propulsion*, Addison-Wesley.

ESAME

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

B4280 Progetto di aeromobili

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Ettore Antona

Il corso si propone di presentare in una visione unitaria le problematiche della progettazione degli aeromobili, per quanto riguarda in particolare gli aspetti aerodinamici, strutturali, aeroelastici e meccanici, esaminate anche nel loro divenire nel progresso tecnico. Si forniscono nozioni fondamentali sui fenomeni fisici strutturati o connessi con la realizzazione degli aeromobili, sui fondamenti scientifici dei metodi impiegati nelle varie fasi del progetto. Si analizzano i concetti ispiratori delle norme e dei regolamenti nel contesto della evoluzione del pensiero sul progetto degli aeromobili.

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. Sicu-

rezza, 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'involuppo, 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.

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 progetto 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 Dohenoff, *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.**B 1530 Economia ed organizzazione aziendale**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+1+2 (ore settimanali)

Docente: Gianni Guerra (collab.: Marco Gallea, Emilio Paolucci)

Lo scopo del corso è quello di far acquisire ai partecipanti la cultura base d'impresa: cioè 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 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 di serie che di progetto / 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.

PROGRAMMA*I. L'impresa nel sistema economico*

1. Economia e sviluppo economico, il ruolo dell'impresa.
2. Il sistema economico ed il sistema delle imprese.
3. Finalità e problematiche gestionali dell'impresa.
4. Sintesi delle operazioni dell'impresa: processi di scambio sui mercati e processi interni.

II. Fondamenti economico-finanziari

1. Archi temporali parziali: il bilancio di esercizio e la contabilità analitica. Analisi delle componenti delle capacità di reddito e dell'equilibrio finanziario.
2. Ciclo di vita definito: criteri e metodologie di analisi degli investimenti e dei finanziamenti.
3. Ciclo di vita indefinito: il valore economico dell'impresa.

III. I fattori di competizione

1. Il profilo strategico dell'impresa: le aree d'affari, le opportunità / minacce, le forze / debolezze, le strategie.
2. Le capacità operative: fattori di qualità, costo, tempo.
 - 2.1 La qualità e la soddisfazione del cliente: concetto e determinanti, la correlazione qualità / prezzi e qualità / costi.
 - 2.2 La gestione dei fattori di qualità e costo: l'ingegneria del valore, il *design to cost*, il *design for manufacturing and assembly*.
 - 2.3 Il tempo quale fattore di competizione.
3. Il miglioramento continuo delle prestazioni.

IV. Il sistema organizzativo

1. Le teorie: teoria razionale, teoria sociale, teoria dei sistemi.
2. Le componenti del sistema organizzativo: le strutture, i sistemi operativi, gli stili direzionali, i sistemi premianti, i valori, il fattore umano.
3. Organizzazioni meccanicistiche ed organicistiche.
4. Il sistema di controllo della gestione:
 - 4.1 Lo schema logico e le componenti.
 - 4.2 Il controllo delle attività di serie.
 - 4.3 Il controllo delle attività su commessa e di progetto.
 - 4.4 Il comportamento di fronte all'incertezza.

ESERCITAZIONI

Modellaggio ed analisi, mediante tabelle elettroniche, di casi di:

- redditività ed equilibrio finanziario dell'impresa;
- punto di pareggio e margine di sicurezza;
- costo prodotti da dati di distinta base, cicli di lavorazione / assemblaggio, contabilità analitica;
- *budget* economico-finanziario;
- scostamenti *budget* / consuntivo;
- investimenti e ciclo di vita dei prodotti;
- casi specifici di ingegneria aerospaziale: costi diretti operativi e indici di redditività degli aeromobili.

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.

ESAME. Scritto, e completamento orale.

Programmi degli insegnamenti (insegnamenti d'orientamento)

I programmi sono riportati in ordine alfabetico di titolo. Al termine del volume (p. 111) le tavole alfabetiche generali, per nomi dei docenti e per titoli degli insegnamenti.

B0052 Aerodinamica 2

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6++2 (ore settimanali); 78++26 (nell'intero periodo)
Docente: Maurizio Pandolfi

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 dei codici.

ESERCITAZIONI

Valutazioni analitiche di problemi per il successivo confronto con risultati numerici. Illustrazione e commento dei codici numerici.

LABORATORIO. Esperienze di calcolo numerico con i codici suddetti su PC del Laboratorio Informatico del Dipartimento.

B0080 Aerodinamica sperimentale

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Michele Onorato (collab.: Maurizio Boffadossi)

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.

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.

B0090 Aeroelasticità applicata

Anno: periodo 2:2 SIA Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Giuseppe Surace

L'obiettivo del corso è di fornire:

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

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

PROGRAMMA

Definizione e classificazione dei fenomeni aeroelastici.

Richiami di elastomeccanica: travi e gusci. Coefficienti di influenza. Metodi di soluzione delle equazioni aeroelastiche, collocazione diretta, di Galerkin, di Rayleigh-Ritz, degli elementi finiti.

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

Richiami di aerodinamica instazionaria.

L'analisi modale sperimentale e la strumentazione utilizzata. L'analisi delle funzioni di trasferimento ricavabili sperimentalmente (FRF). Estrazione dei parametri modali. Modelli SDOF (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.

ESERCITAZIONI

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

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

Calcolo della risposta dinamica di una struttura sollecitata da una forzante di tipo: 1) armonica; 2) *random*.

Calcolo della risposta dinamica di una struttura sollecitata da una esplosione o dal *boom* sonico.

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*.

LABORATORIO

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:

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

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

Testi per approfondimenti:

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

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

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

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

B0510 **Calcolo numerico**

Anno/periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Claudio Canuto

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 equispaziati 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]

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/periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Giuseppe Surace

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, ..., 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.

ESERCITAZIONI

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

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

Calcolo della risposta dinamica di una struttura sollecitata da una forzante di tipo: 1) armonica; 2) *random*.

Calcolo della risposta dinamica di una struttura sollecitata da una esplosione o dal *boom* sonico.

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*.

LABORATORIO

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:

Zienckievicz, *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.

B1250 Dinamica del volo

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali); ++3 (nell'intero periodo)

Docente: Piero Morelli (collab.: Piero Gili)

Il corso intende introdurre l'allievo alla trattazione dei problemi della dinamica del volo, con particolare riferimento ai velivoli. Dopo le indispensabili premesse di nozioni sulla stabilità statica e il controllo dei velivoli, sulla compensazione aerodinamica e sul funzionamento delle alette, vengono impostate e risolte le equazioni del moto vario sia longitudinale che laterodirezionale, nella forma disaccoppiata. La discussione dei risultati fa particolare riferimento alle cosiddette "qualità di volo" dei velivoli e alla loro dipendenza da fattori aerodinamici e inerziali.

REQUISITI

Aerodinamica, buona preparazione nell'analisi matematica e nella meccanica razionale. Si raccomanda in particolare di aver già seguito le lezioni ed assorbito i contenuti del corso di *Meccanica del volo*.

PROGRAMMA

Richiami e complementi di nozioni sull'equilibrio, la stabilità e la manovrabilità longitudinale. [4 ore]
 Contributi al momento longitudinale. [5 ore]
 Controllo dell'equilibrio longitudinale. [3 ore]
 Stabilità statica longitudinale. Fuoco del velivolo a comandi liberi e bloccati. [3 ore]
 Sforzi di barra. Compensazione aerodinamica. Alette corretttrice e compensatrice. [3 ore]
 Volo accelerato. Punti di manovra. [5 ore]
 Limiti all'escursione del baricentro del velivolo. [1 ora]
 Definizioni dei riferimenti inerziali e delle terne di assi-corpo e di assi-vento solidali col velivolo in movimento. [2 ore]
 Impostazione delle equazioni del moto vario a sei gradi di libertà. Loro linearizzazione. Ipotesi di base del disaccoppiamento. [4 ore]
 Dinamica del moto longitudinale a comandi bloccati e liberi. Equazioni del moto in forma dimensionale e adimensionale. Modi caratteristici. Derivate aerodinamiche longitudinali. [12 ore]
 Diagrammi di stabilità. [1 ora]
 Diagrammi di opinione. [1 ora]
 Risposta alla manovra dell'equilibratore. Correlazione fra la rotazione dell'equilibratore e l'incremento del fattore di carico al baricentro del velivolo. [5 ore]
 Dinamica del moto latero-direzionale. Derivate aerodinamiche latero-direzionali. Equazioni del moto a comandi bloccati, in forma dimensionale e adimensionale. Modi caratteristici latero-direzionali e loro compatibilità. [7 ore]

ESERCITAZIONI

Definizione dei riferimenti di velivolo dato.
 Determinazione del fuoco del velivolo parziale e della corda media aerodinamica.
 Determinazione delle correlazioni C_{L} e C_{D} per l'ala isolata e il velivolo completo.
 Determinazione dell'angolo di barra dell'equilibratore e dell'aletta corretttrice in funzione di C e V .
 Determinazione dello sforzo di barra in funzione di V .
 Determinazione del fuoco del velivolo a comandi bloccati e liberi.
 Correlazione fra angolo di barra dell'equilibratore e sforzo di barra col fattore di carico.
 Punti di manovra a comandi bloccati e liberi.
 Escursione ammissibile del baricentro del velivolo.
 Modi caratteristici longitudinali di un velivolo da trasporto.

Diagrammi di Argand.

Risposta a manovra istantanea dell'equilibratore.

LABORATORIO

Visita a simulatori di volo nell'industria, preceduta e seguita da spiegazioni e considerazioni generali sui problemi della simulazione.

BIBLIOGRAFIA

Etkin, *Dynamics of atmospheric flight*, Wiley.

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

Babister, *Aircraft stability and control*, Pergamon.

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

Lecomte, *Mécanique du vol*, Dunod.

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

ESAME

Prova orale con domande sulle parti "statica" e "dinamica" del corso e con riferimento eventuale agli elaborati delle esercitazioni.

B 1252 Dinamica del volo 2

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); ++8 (nell'intero periodo)

Docente: Fulvia Quagliotti (collab.: Giorgio Guglieri)

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 discutono i modelli matematici ottenuti e si richiamano le ipotesi di linearizzazione delle equazioni del moto. 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, anche in condizioni di volo ad alta incidenza e si descrivono le principali instabilità.

REQUISITI. *Meccanica del volo, Meccanica applicata, Dinamica del volo.*

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.

Interfaccia uomo-macchina.

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

Caratteristiche aeromeccaniche di corpi fusiformi e di ali di bassissimo allungamento in campo subsonico.

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.

B1260 Dinamica del volo spaziale

Anno: periodo 2:2 SIA

Docente: *da nominare*

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

PROGRAMMA

- Equazioni del moto di un velivolo e veicolo spaziale.
 Equazioni cardinali della meccanica dei corpi rigidi.
 Trasformazione di coordinate.
 Sistemi di riferimento.
 Equazioni delle forze agenti su velivoli e missili riferite ai diversi sistemi di riferimento, equazioni dei momenti e loro discussione.
 Specializzazione delle equazioni del moto allo studio della dinamica del velivolo e del missile.
 Ipotesi di linearizzazione.
 Derivate aerodinamiche di stabilità.
 Equazioni del moto in forma non dimensionale.
 Caratteristiche aeromeccaniche dei velivoli.
 Caratteristiche di stabilità dei velivoli e dei corpi fusiformi in condizioni di volo ad alta incidenza (studio teorico e sperimentale).
 Configurazioni a portata vorticoso. Controllo dei vortici che si generano all'apice di un corpo fusiforme.
 Studio delle traiettorie dei principali tipi di missile.

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

BIBLIOGRAFIA

- B. Etkin, *Dynamics of flight : stability and control*, Wiley.
 H. Ashley, *Engineering analysis of flight vehicles*, Addison-Wesley.
 J.N. Nielsen, *Missile aerodynamics*, McGraw-Hill.
 M. Hemsh, J. Nielsen, *Tactical missile aerodynamics*, AIAA vol. 104, Washington.

B 1800 Endoreattori

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Dario Pastrone (collab.: Guido Colasurdo)

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

Classificazione degli endoreattori. [4 ore]

Definizioni di prestazioni di comune impiego in razzotecnica. Descrizione dei sistemi propulsivi dello *Space shuttle*.

Modello di endoreattore ideale. [6 ore]

Termochimica dei propellenti: calcolo delle condizioni in camera di combustione. Espansione dei gas combust: composizione congelata, composizione in equilibrio composizione reale e modelli approssimati. Fattori che influenzano la velocità di eiezione. Significato ed espressione di velocità caratteristica e coefficiente di spinta. Impulso specifico per densità. Tempo di permanenza in camera di combustione e lunghezza caratteristica.

Prestazioni reali: fattori di correzione. [6 ore]

Presenza di particelle solide / liquide nei gas di scarico. Urto di condensazione. Effetti dello strato limite. Effetti della pressione ambiente: configurazione del getto, distacco del getto, scelta del rapporto di espansione. Geometria dell'ugello: ugello ideale, ugello conico, ugello a campana, ugelli anulari.

Il problema del raffreddamento. [8 ore]

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

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 (*settling e propellant management*). Sistemi di alimentazione mediante gas pressurizzante (gas compresso, evaporazione del

propellente, gas generato tramite reazione chimica). Sistema di alimentazione tramite turbopompe: cicli aperti e cicli chiusi, pompe assiali / centrifughe, problemi di cavitazione, turbine, accoppiamento pompa - turbina.

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, realizzazione di sistema di raffreddamento rigenerativo.

Endoreattori a propellenti liquidi, parte III. [6 ore]

Giunti; valvole; condotti. Perdite di propellente. Calibrazione del sistema. Regolazione del modulo della spinta. Orientamento della spinta. Descrizione di alcuni endoreattori a liquido.

Endoreattori a propellenti solidi. [8 ore]

Classificazione e caratteristiche dei propellenti solidi. Proprietà balistiche. Meccanismo di combustione. Instabilità di combustione. Accensione e spegnimento. Geometrie usuali del grano di propellente. Processi di produzione. Materiali e particolarità costruttive di involucri ed ugelli. Controllo della direzione della spinta. Descrizione di alcuni endoreattori a propellenti solidi.

Endoreattori a propellenti ibridi. [4 ore]

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

ESERCITAZIONI

In ciascuna esercitazione viene, di massima, affrontato un problema diverso. Tra i temi trattati: calcolo delle condizioni in camera di combustione; prestazioni, dimensionamento e raffreddamento della camera di spinta degli endoreattori a propellenti liquidi per un lanciatore a tre stadi; il sistema di alimentazione dello SSME (*Space shuttle main engine*); progetto di endoreattore a propellente solido; progetto di endoreattore a propellenti ibridi.

LABORATORIO

Rilievo dell'andamento della pressione in camera di combustione di piccolo endoreattore a propellente solido con ugello intercambiabile. (Gli allievi vengono raggruppati in squadre di 10).

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

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

Testi ausiliari:

K. Huzel, H. Huang, *Modern engineering for design of liquid-propellant rocket engines*, In: "Progress in astronautics and astronautics", vol. 147, AIAA, 1992.

Y.M. Timnat, *Advanced chemical rocket propulsion*, Academic Press, 1987.

B2090 Fluidodinamica ambientale

Anno: periodo 2:2 SIA Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Claudio Cancelli

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]

ESERCITAZIONI

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

(Non esiste uno specifico testo di riferimento).

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: periodo 2:1 SIA Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali)

Docente: *da nominare*

Il corso ha per obbiettivo 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

1. [8 ore]

Richiami di fluidodinamica del flusso ideale comprimibile, viscoso.
Elementi di fluidodinamica per flussi bifase e per flussi reagenti.

2. [18 ore]

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.

3. [14 ore]

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.

4. [10 ore]

Problemi inversi per condotti e loro soluzione numerica.
Il problema dell'*after-body*.

ESERCITAZIONI [24 ore]

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*.

B2120 Fluidodinamica delle turbomacchine

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Luca Zannetti (collab.: Francesco Larocca)

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 interpalari e che costituiscono la base dei metodi di analisi e progetto di schiere palettate.

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

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

1. 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.

2. 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.

3. Studio analitico del moto 2D in schiere. [12 ore]

Il metodo di Weinig. Le forze agenti su una schiera palettata, generalizzazione del teorema di Kutta-Joukowski. Schiere di profili con geometria arbitraria, la trasformazione di Ives e la trasformazione di Theodorsen-Garrick. L'uso di elaboratori per calcolare e visualizzare il flusso potenziale attorno a profili singoli e in schiera.

4. 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.

5. *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.

6. *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.

7. *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.

8. *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.

9. *Incidenza unica.* [4 ore]

Peculiarità delle correnti supersoniche assialmente subsoniche. L'incidenza unica. La soluzione di Ferri. Il metodo di Levine.

10. *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.

11. *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 seminariale di soluzioni numeriche di problemi 2D e 3D in turbomacchine.

ESERCITAZIONI [24 ore]

Richiami di termodinamica.

Nomenclatura e tracciamento di profili in schiera.

Trasformazioni conformi e potenziale complesso: Joukowski e Weinig.

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: periodo 2:1 SIA Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4++4 (ore settimanali)

Docente: Gaetano Iuso

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, a carattere essenzialmente sperimentale, di alcuni flussi tipici come getti, scie e strati limite.

REQUISITI. *Aerodinamica.*

PROGRAMMA

1. *Richiami.* [2 ore]

Richiamo delle equazioni fondamentali: equazione della continuità, equazioni di Navier-Stokes, equazioni di Reynolds, equazione dell'energia cinetica turbolenta, equazione dell'energia. Trasformazioni isentropiche. Grandezze di arresto. Teorema di Bernoulli.

2. *Similitudine fluidodinamica.* [2 ore]

Analisi dimensionale e leggi di similitudine. Applicazioni a problemi di carattere aeronautico.

3. *Misura della pressione totale e statica in flussi subsonici e supersonici.* [6 ore]

Misura della pressione totale in condizioni stazionarie; principio fisico coinvolto nella misura. Sonde utilizzate. Errori e relative correzioni connesse con la misura della pressione totale. Applicazioni. Effetti della compressibilità.

Misura della pressione statica in condizioni stazionarie; principio fisico coinvolto nella misura. Sonde utilizzate. Errori e relative correzioni connesse con la misura della pressione statica. Applicazioni. Effetti della compressibilità.

Misura della pressione in condizioni non stazionarie. Manometri. Trasduttori di pressione capacitivi, a *strain gauge* e piezoelettrici.

4. *Misura del vettore velocità con sonde pneumatiche.* [2-4 ore]

Principio fisico coinvolto nella misura. Valutazione del vettore velocità in flussi bidimensionali. Sonde utilizzate. Problemi connessi con la misura in flussi 2D. Valutazione del vettore velocità in flussi tridimensionali. Sonde a quattro e cinque fori a testa conica e sferica. Sonde a nove fori tipo Gottinga. Problemi connessi con la misura in flussi 3D. Esempi di applicazione.

5. *Tecniche per la misura dello sforzo di attrito a parete.* [6 ore]

Misura dello sforzo in condizioni di flusso bidimensionale e tridimensionale. Tecniche dirette: bilancine. Tecniche indirette: legge della parete e analogie. Sonde di pressione con presa singola e con prese multiple. Sonde con sensori (filo e film) caldi.

Tecnica dei liquidi superficiali. Esempi di applicazioni.

6. *Anemometria a filo caldo.* [10-12 ore]

Principio di funzionamento di un sistema anemometrico a temperatura e a corrente costante. Leggi di scambio termico sensore - corrente gassosa. Legge di King. Risposta in frequenza e risoluzione spaziale. Metodi di calibrazione: leggi di risposta

direzionale di una sonda ed equazioni di taratura. Sonde a filo caldo. Analisi della risposta di sonde a singolo sensore (normale e inclinato), di sonde a doppio sensore (sonde a X) e di sonde con triplo sensore. Analisi di un segnale anemometrico a filo caldo per lo studio di flussi turbolenti: valutazione del livello di turbolenza, degli sforzi di Reynolds, dello spettro delle componenti fluttuanti di velocità. Determinazione della funzione di autocorrelazione, della macroscala spazio-temporale della turbolenza.

7. *Anemometria laser Doppler.* [4 ore]

Generalità sulla tecnica e principio di funzionamento. Sistema a frange di interferenza. Fotomoltiplicatore. Ambiguità del segnale Doppler. Cella di Bragg. Analisi di un segnale Doppler mediante *counter processor*, *frequency tracker* e *bursting spectrum analyser*. Sistema anemometrico per la misura di due componenti di velocità. Tecniche per l'inseminazione della corrente.

8. *Tecniche per la visualizzazione di flussi.* [4-6 ore]

Definizione di *streamlines*, *streaklines* e *pathlines*. Tecniche per la visualizzazione dei flussi a parete in aria e acqua (*oil film visualizations*, *wall tufts*, iniezione di traccianti). Tecniche per la visualizzazione di flussi lontano dalla parete, in aria e in acqua (*smoke visualizations*, bolle di elio, bolle di idrogeno). Visualizzazione di flussi compressibili: tecnica *shadowgraph* e *Schlieren*. Esempi di applicazione.

9. *Gallerie del vento.* [8 ore]

Architettura delle gallerie del vento subsoniche di impiego aeronautico, di impiego automobilistico, civile e ambientale. Requisiti e criteri progetto di una galleria del vento subsonica. Metodo di Wattendorf per il calcolo delle perdite e determinazione della potenza necessaria. Qualità di flusso di una galleria del vento. Descrizione e funzionamento di gallerie transoniche, supersoniche e ipersoniche. Analisi di gallerie esistenti.

10. *Tecniche di acquisizione di dati, strumentazione ed errori di misura.* [6 ore]

Tecniche di acquisizione analogiche e digitali. Teorema di Nyquist. Risoluzione di un convertitore. Errori dovuti al campionamento di dati. Acquisizione in serie e parallela di più segnali. Strumentazione tipica per la sperimentazione fluidodinamica. Valutazione degli errori e loro propagazione in una catena di misura.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni sono condotte esclusivamente nel Laboratorio di aerodinamica del Dipartimento. Una prima parte di esse è dedicata alle varie tecniche di misura presentate a lezione. [20-22 ore]

Segue una serie di esercitazioni finalizzate allo studio di base di alcuni flussi tipici quali getti, scie e strati limite, che comportano l'applicazione delle tecniche di misura acquisite. [20-22 ore]

Di volta in volta sono anche organizzate esercitazioni orientate sia allo studio degli impianti esistenti in laboratorio, sia alle sperimentazioni in fase di svolgimento nelle varie gallerie del vento del Laboratorio di aerodinamica del Dipartimento. [4-6 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

R.J. Goldstein, *Fluid mechanics measurements*.

Testi ausiliari:

P. Bradshaw, *Experimental fluid mechanics*.

A. Pope, *Wind tunnel testing*.

D.J. Tritton, *Physical fluid dynamics*.

ESAME. Esame orale e discussione di una o più esercitazioni.

B2222 Gasdinamica 2

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6++2 (ore settimanali)

Docente: Renzo Arina

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 calcolatore, 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

1. 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.

2. Equazioni di bilancio della meccanica dei fluidi. [4 ore]

Equazioni di bilancio, legami termodinamici e relazioni costitutive. Proprietà matematiche dei differenti modelli fluidodinamici.

3. 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.

4. 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.

5. 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*).

6. Simulazione di flussi turbolenti. [6 ore]

Formulazione statistica delle equazioni di bilancio. Modelli di chiusura. Metodi di calcolo.

LABORATORIO

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.

Testi ausiliari:

D.A. Anderson, J.C. Tannehill, R.H. Pletcher, *Computational fluid mechanics and heat transfer*, McGraw-Hill, 1987.

C. Hirsh, *Numerical computation of internal and external flows*, Wiley, 1988.

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

B2570 Impianti aeronautici

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4(6)+2+2 (ore settimanali)

Docente: Sergio Chiesa (collab.: Paolo Maggiore)

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]

ESERCITAZIONI

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]

LABORATORIO

Banco comandi di volo. [3 esercitazioni, 6 ore]

Banco impianto idraulico. [3 esercitazioni, 6 ore]

Banco impianto elettrico. [3 esercitazioni, 6 ore]

Banco logica pneumatica. [2 ore]

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: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+1+1 (ore settimanali)

Docente: Miriam Pandolfi Bianchi (collab.: Diego Barbieri)

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 connessi con la diffusione, le vibrazioni e il potenziale.

REQUISITI

Si ritiene necessario avere seguito i corsi di *Analisi matematica* e *Meccanica razionale*.

PROGRAMMA

1. *Approssimazione di dati e di funzioni.* [14 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.

2. *Problemi ai valori al contorno omogenei e non omogenei.* [10 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.

3. *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.

4. *Funzioni di Green.* [4 ore]

Metodo delle funzioni di Green per problemi ai valori iniziali. Interpretazione fisica della funzione di Green.

5. *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'Alembert dell'equazione delle onde unidimensionale. Uso della tecnica della separazione delle variabili per certe equazioni della fisica matematica.

6. *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 ai valori al contorno su domini illimitati.

7. *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.

8. *Equazione delle onde.* [4 ore]

Modello unidimensionale. Moti liberi e forzati della corda vibrante. Membrana vibrante fissa ai bordi, rettangolare e radial-simmetrica.

9. *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.

ESERCITAZIONI

1. 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]

2.-3. Calcolo di autovalori. Metodo delle secanti e di Newton per l'approssimazione degli zeri di funzioni. 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]

6. Studio grafico della convergenza delle serie di Fourier. Fenomeni di Gibbs. [2 ore]

7. 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]

LABORATORIO

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.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

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: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Salvatore D'Angelo

Il corso è articolato in due parti, la prima delle quali è dedicata allo studio dell'elica aeronautica: vengono espone 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 flap-peggio. [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:periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 7+1 (ore settimanali)
 Docente: Gianfranco Chiocchia

Il corso intende fornire le basi per la comprensione fisica e la rappresentazione matematica dei principali fenomeni causati dall'interazione tra correnti fluide e strutture elastiche in condizioni sia stazionarie, sia, soprattutto, non stazionarie. Data l'importanza per gli aspetti dinamici dell'aeroelasticità, un congruo numero di lezioni è dedicato all'esposizione di elementi di aerodinamica instazionaria.

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

PROGRAMMA

1. Definizione e classificazione dei fenomeni aeroelastici. Diagrammi funzionali ed operatori aeroelastici. [3 ore]
2. *Galloping* e *vortex shedding* in strutture aeronautiche e civili. [2 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 di influenza a flessione e torsione per ali diritte e a freccia. Moti torsionali e flessionali puri ed accoppiati. Sistemi a sviluppo superficiale (cenni). Principali metodi per la soluzione delle equazioni dell'aeroelasticità: collocazione diretta, collocazione a mezzo funzioni generalizzate, metodi di Galerkin e di Rayleigh-Ritz.

[11 ore]

4. Problemi aeroelastici statici: divergenza torsionale e inversione d'effetto delle superfici di comando in sistemi piani e in ali a medio-grande allungamento; effetto della pianta a freccia, distribuzione di portanza sull'ala deformata, perdita di efficacia degli alettoni. Divergenza flessionale nelle fusoliere e nei vettori spaziali. [12 ore]

5. Equazioni generali del moto instazionario di un fluido ideale e loro forma linearizzata. Condizioni ai contorni vicino e lontano. Approssimazione acustica. Potenziale delle accelerazioni. Campi incompressibili di moto instazionario. Moto accelerato intorno ad un cilindro: importanza del sistema di riferimento. Forze di massa virtuali. Moti instazionari con rilascio di vorticità. [13 ore]

6. Partenza impulsiva di una lamina piana (teoria di Wagner). Raffica a gradino. Principio di sovrapposizione e uso dell'integrale di Duhamel. Profili sottili in moto vario e in moto armonico investiti da una corrente uniforme. Profilo con alettone. Importanza degli sfasamenti tra spostamenti e forze aerodinamiche ai fini aeroelastici.

[15 ore]

7. Campi instazionari spaziali: ali ad allungamento finito in moto vario ed armonico. Moti instazionari di corpi snelli. [3 ore]

8. Campi instazionari compressibili. Soluzioni elementari in mezzo a riposo: sorgenti e dipoli attivati improvvisamente e pulsanti in domini lineari, piani e spaziali. Soluzioni elementari in una corrente subsonica. Moto armonico di un profilo sottile investito da una corrente compressibile. [7 ore]

9. *Flutter* classico: interpretazione energetica e fenomenologia. Equazioni e metodi di soluzione per un modello bidimensionale piano. Coalescenza delle frequenze proprie dei modi aeroelastici. Analisi parametrica e criteri di prevenzione. Effetto della compressibilità e della quota. Ali a medio allungamento dritte e a freccia. *Flutter* degli alettoni. [12 ore]

10. *Flutter* di stallo e *flutter* dei pannelli. *Whirl-flutter* dei rotori degli aerei V-STOL e degli aeromotori. *Buffeting*. *Buzz* e *buffeting* transonico. [6 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Per gli argomenti strettamente aeroelastici, il contenuto del corso è illustrato nel testo:

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

mentre gli argomenti di aerodinamica instazionaria sopra citati sono raccolti in dispense da fotocopiare fornite dal docente.

Testi per approfondimenti:

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

P 4020 Principi e metodologie della progettazione meccanica

Anno: periodo 5:1

Docente: Giancarlo Genta

Il corso si propone di fornire agli allievi le conoscenze di base necessarie per la verifica ed il progetto strutturale in campo meccanico. Tale scopo viene perseguito trattando in dettaglio i metodi di calcolo e di verifica, con particolare riguardo ai metodi numerici attualmente più diffusi nella pratica professionale, senza peraltro trascurare di fornire agli allievi quelle nozioni teoriche più generali che sole permettono di acquisire la maturità tecnica necessaria per operare in un ambiente dinamico ed aperto alle innovazioni.

REQUISITI

Per frequentare il corso con profitto, lo studente deve aver appreso ed assimilato i contenuti degli insegnamenti di *Meccanica razionale*, *Meccanica applicata alle macchine*, *Scienza delle costruzioni* e *Costruzione di macchine*. Non è tuttavia richiesto il superamento formale del relativo esame.

PROGRAMMA

Introduzione al corso. [2 ore]

La progettazione meccanica; la figura del progettista. Calcoli di progetto e calcoli di verifica; progettazione statica, quasi statica, dinamica; metodi classici e metodi numerici, il calcolo automatico nella progettazione, integrazione del calcolo strutturale assistito dal calcolatore con il disegno, lo studio funzionale e la programmazione della produzione (CAE).

1. *Calcolo strutturale statico. Metodi classici;*

stato di tensione nei solidi assialsimmetrici. [12 ore]

Stato tensionale dei rotori. Teoria dei dischi rotanti. Ipotesi di base. Equazioni di equilibrio e congruenza. Problema diretto: equazione risolvente. Dischi di spessore costante: condizioni di carico e soluzione dello stato tensionale. Dischi con densità variabile con il raggio. Dischi a profilo iperbolico. Dischi a profilo qualsiasi: metodi di Grammel e di Manson. Problema inverso: dischi di uniforme resistenza. Effetto dei fori sullo stato di tensione nei dischi rotanti. Effetto della plasticità del materiale sullo stato tensionale dei dischi rotanti. Autoforzamento. Stato tensionale dei recipienti cilindrici a parete sottile. Recipienti cilindrici a parete spessa. Recipienti per alte pressioni. Instabilità elastica dei gusci cilindrici soggetti a pressione esterna.

2. *Calcolo strutturale statico. Metodi numerici; il metodo degli elementi finiti.* [10 ore]

Calcolo matriciale delle strutture, caso delle barre e delle travi; assemblaggio della struttura e mappa. Vettori dei carichi nodali equivalenti a carichi distribuiti. Leggi di spostamento assegnate: funzioni di forma. Costruzione della matrice di rigidezza e dei vettori dei carichi nodali equivalenti tramite la equazione dei lavori virtuali. Elemento asta ed elemento trave. Formulazione di Eulero e di Timoshenko. Fenomeno del *locking*. Cenni sui vari tipi di elementi, elementi isoparametrici. Fenomeno del *locking* in generale. *H*-convergenza e *p*-convergenza: cenni sugli elementi gerarchici. Cenni sul metodo degli elementi al contorno.

3. *Calcolo strutturale dinamico. Riepilogo sulla dinamica dei sistemi discreti.* [8 ore]

Richiami sui sistemi ad un grado di libertà. Vibrazioni libere e forzate. Risposta in

frequenza dei sistemi ad un grado di libertà. Sistemi smorzati; smorzamento interno dei materiali e sua modellazione; eccitazione periodica non armonica, cenni sull'eccitazione casuale. Richiami sui sistemi a molti gradi di libertà, equazione del moto in forma lagrangiana, disaccoppiamento modale, sistemi smorzati. Risposta forzata dei sistemi a molti gradi di libertà, fattori di partecipazione modale. Smorzatore dinamico.

4. *Calcolo strutturale dinamico. Dinamica dei sistemi continui e loro discretizzazione.* [10 ore]

Generalità sui sistemi continui. Aste e travi. Trave di Eulero-Bernoulli. Modi di vibrare dei sistemi continui. Trave di Timoshenko. Accoppiamento flesso-torsionale, effetto delle forze assiali sulle vibrazioni flessionali delle travi, corde vibranti. Metodi di discretizzazione. Metodo delle forme modali imposte. Modelli a parametri concentrati. Matrici di trasferimento. Metodi di Myklestad e di Holzer. Metodo degli elementi finiti. Matrice delle masse. Riduzione statica, dinamica e di Guyan. Soluzione del problema delle vibrazioni libere e forzate. Formula di Dunkerley e metodo di Stodola. Simulazione dinamica.

5. *Dinamica delle macchine rotanti.* [10 ore]

Vibrazioni dei rotori, velocità critiche, campi di instabilità, diagramma di Campbell. Rotore di Jeffcott non smorzato, autocentrimento. Rotore di Jeffcott con smorzamento viscoso, stabilità, diagramma di Campbell e luogo delle radici. Rotore a 4 gradi di libertà, effetto giroscopico, rotori a molti gradi di libertà. Anisotropia del rotore e dei supporti. Equilibratura dei rotori, diagnostica delle macchine rotanti.

6. *Dinamica delle macchine alternative.* [6 ore]

Sistema equivalente. Comportamento dinamico del sistema biella-manovella. Equazione del moto in forma semplificata. Vibrazioni libere, velocità critiche torsionali. Vibrazioni forzate. Smorzamento delle vibrazioni torsionali degli alberi a gomiti.

7. *Cenni di meccanica della frattura.* [2 ore]

Teoria di Griffith, fattore di intensificazione delle tensioni, meccanica della frattura lineare elastica, crescita della cricca.

ESERCITAZIONI

1. Esercizi di riepilogo sullo stato di tensione.
2. Esercizi sul calcolo di resistenza di dischi rotanti.
3. Relazione tecnica sul calcolo di un disco di uniforme resistenza.
4. Esercizi sul calcolo di resistenza di recipienti cilindrici.
- 5., 6. Risoluzione di problemi relativi al calcolo strutturale tramite impostazione matriciale.
- 7., 8. Esercizi sull'analisi dinamica di sistemi a parametri concentrati.
9. Esercizi sull'analisi dinamica mediante il metodo degli elementi finiti.
- 10., 11. Relazione tecnica sull'analisi dinamica di una struttura.
12. Esercizi sulla dinamica delle macchine rotanti.

LABORATORIO

13. Eserc. di laboratorio sull'analisi modale.
14. Eserc. di laboratorio sui controlli non distruttivi.

BIBLIOGRAFIA

- G. Belingardi, *Principi e metodologie della progettazione meccanica*. Vol. 1 e 2, Levrotto & Bella.
- F.A. Raffa, *Elementi finiti gerarchici. Elementi al contorno*, Levrotto & Bella.
- A. Gugliotta, *Introduzione alla meccanica della frattura lineare elastica*, Levrotto & Bella.

ESAME

L'esame consiste in una prova scritta seguita da una prova orale. Per accedere alla prova orale il candidato deve aver superato la prova scritta con almeno una votazione di 18/30. La prova orale deve essere sostenuta nello stesso appello in cui è stata superata la prova scritta. Lo studente che intende partecipare alla prova scritta dovrà iscriversi alla medesima con almeno due giorni di anticipo. Non verranno ammessi alla prova scritta studenti non iscritti o iscritti in ritardo. L'iscrizione deve essere effettuata utilizzando gli appositi fogli messi a disposizione degli studenti in prossimità della bacheca del dipartimento di Meccanica, 3. piano.

B4190 Progettazione di strutture aerospaziali

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+1+1 (ore settimanali)

Docente: Giulio Romeo

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

1. 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.*

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. Limiti di stabilità elastica dei pannelli ortotropi soggetti a compressione uni- e biassiale e/o taglio. Studio delle equazioni differenziali di equilibrio del pannello.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. Progettazione delle giunzioni meccaniche e per incollaggio nelle strutture in composito.

ESERCITAZIONI

1. Proiezione filmato su realizzazione e prove in volo del velivolo ad energia solare Solar Challenger.
2. Determinazione delle caratteristiche meccaniche del composito, note che siano quelle dei due costituenti il materiale e la loro percentuale in volume.
3. Determinazione delle rigidità estensionali, di accoppiamento e flessionali di un laminato anisotropo con orientazione arbitraria delle fibre. Carichi igrotermici. Stato di tensione e di deformazione nelle singole lamine del generico laminato. Verifica dei criteri di rottura di un laminato multistrato.
4. Verifica dei carichi critici dei pannelli irrigiditi ad I in grafite/epoxy: generale, torsionale e locale (rivestimento e corrente).
5. Determinazione delle tensioni correttive in una trave con sezione a Z soggetta a torsione ed influenza della componente flesso-torsionale.

LABORATORIO

1. 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.
2. 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.

B4200 Progettazione e costruzione di macchine speciali

Insegnamento non attivato nell'anno 1995/96, vicariato da P 4020, Principi e metodologie della progettazione meccanica.

B4260 Progetto dei sistemi aerospaziali

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Ettore Antona

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.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Dispense indicate ed appunti forniti dal docente.

Testi per approfondimenti:

V.M. Blanco, S.W. McCuskey, *Basic physics of the Solar system*, Addison Wesley, Reading (Mass.), 1961.

B4380 Propulsione aerospaziale

Anno/periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6(4)+2+(2) (ore settimanali)

Docente: Guido Colasurdo (collab.: Dario Pastrone)

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; sensibilità 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. Traiettoria di allontanamento dalla terra; finestra di lancio. Traiettoria di avvicinamento ai pianeti; cattura; *gravity assist*. [6 ore]

Prestazioni di razzi e veicoli spaziali; definizione di spinta e resistenza. Equazione del moto di un razzo; variabili di stato e di controllo; vincoli sulla traiettoria. Equazione di Tsiolkovsky; perdite gravitazionali, per disallineamento della spinta e per resistenza atmosferica. Prestazioni del razzo monostadio; razzo polistadio. Traiettoria di un razzo per l'iniezione in orbita con propulsione continua e con fase balistica intermedia. 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]

ESERCITAZIONI

In ciascuna esercitazione viene, di massima, affrontato un problema diverso di meccanica del volo spaziale, curandone particolarmente gli aspetti numerici. Tra i temi: traiettorie kepleriane; calcolo dei parametri orbitali classici e della traccia di un satellite terrestre; costellazioni di satelliti; trasferimento in orbita geostazionaria; missione Terra - Luna; missione su Marte; ascesa in orbita di un razzo polistadio.

LABORATORIO

Nei mesi di novembre e dicembre, due ore settimanali di lezione saranno sostituite da esercitazioni svolte presso il LAIB (Laboratorio Informatico di Base). Gli allievi utilizzeranno programmi forniti dal docente per visualizzare orbite, tracce di satelliti sulla superficie terrestre e traiettorie per missioni lunari.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

F.J. Hale, *Introduction to space flight*, Prentice-Hall, 1994.

Testi ausiliari:

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

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/periodo 2:1 SIA Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Guido Colasurdo

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 termofluidodinamico; 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 magneto-gasdinamica. 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]

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

F.J. Hale, *Introduction to space flight*, Prentice-Hall, 1994.

ESAME

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

B5100 Sperimentazione di volo

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Piero Gili

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 problemi, nelle prove di volo, relativi 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, le prove ad alta incidenza, i metodi classici

per determinare quelle derivate aerodinamiche che intervengono nel moto longitudinale e latero-direzionale.

Vengono anche fatti alcuni cenni sulle possibili indagini, con prove di volo, su fenomeni vibratorii.

REQUISITI. È opportuno essere a conoscenza dei concetti fondamentali della *Meccanica applicata*, dell'*Aerodinamica*, delle *Costruzioni aeronautiche*, della *Meccanica e della Dinamica del volo*.

PROGRAMMA

Misura della velocità, della temperatura e dell'angolo di incidenza. [14 ore]

Misura della velocità, flusso incompressibile e compressibile; il numero di Mach, regime supersonico, 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, *nose boom system*, *wing boom system*, altri sistemi, relazioni dell'errore di posizione; relazioni per la correzione della velocità e della quota; metodi di taratura del sistema anemometro, *low altitude speed source method*, *tower fly-by method*, *pacer method*, *smoke-trail* e *contrast-trail method*, *radar altitude reference*, *trailing devices*, *trailing anemometer*; taratura della sonda di temperatura, determinazione del coefficiente di restituzione K , descrizione ed errori di un trasduttore di TAT; misura dell'angolo di incidenza.

Sistemi di misura. [8 ore]

Generalità sui sistemi di misura del primo e del second'ordine; sistemi del prim'ordine, funzionamento tipico, risposta ad una funzione di ingresso di forma armonica; sistemi del second'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 particolari sull'influenza dello smorzamento sulle caratteristiche del regime transitorio, osservazioni e conclusioni sulle caratteristiche di un accelerometro.

Caratteristiche degli impianti di misura per prove di volo. [12 ore]

Progetto del sistema di strumentazione; caratteristiche metrologiche del canale di misura, intervallo di misura, la risoluzione, la precisione statica, la precisione dinamica; misura della temperatura, tipi di sensori, termometri a resistenza, termocoppie, applicazioni dei trasduttori di temperatura; misura del flusso di carburante, flussometro a turbina, flussometro a orifizio variabile, flussometro a momento angolare; misura dell'accelerazione, accelerometri a *loop* aperto e *loop* chiuso, il giroscopio d'assetto, il girometro; misura di posizione lineare e angolare; sensori di pressione, tipologia dei trasduttori e loro errori; strumentazione per prove di volo, caratteristiche di un impianto di misura, le tecniche di acquisizione, l'acquisizione di dati dai *bus* dei sistemi avionici, la registrazione magnetica; attrezzature per il condizionamento del segnale, analisi di una catena di misura e relativi errori.

Determinazione del peso, della posizione del baricentro e dei momenti d'inerzia del velivolo. [4 ore]

Peso del velivolo e posizione del baricentro a terra e in volo; metodi per la determinazione dei momenti principali d'inerzia del velivolo.

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. [14 ore]

Rilevamento dei carichi in volo, tecniche di misura dei carichi in volo: estensimetri e *pressure plotting*, finalità della prova, strumentazione, taratura, condizioni di volo, elaborazione e presentazione dei dati; rilievo dei carichi a terra; manovre in volo; prove strutturali dinamiche, finalità delle prove, meccanismo del *flutter*, calcoli e prove a terra, sperimentazione in volo, l'accelerometro per prove di *flutter* e vibrazioni, tecniche di eccitazione in volo.

Prove di volo ad alta incidenza. [8 ore]

Caratteristiche generali della vite, l'autorotazione, autorotazione definita, gradi di libertà verticale, orizzontale e al beccheggio; le condizioni di equilibrio; manovre per entrare ed uscire dalla vite; le condizioni di similitudine; prove di vite, prove con modelli controllati via radio, prove al vero, considerazioni sulla sicurezza, progetto del paracadute antivite.

Determinazione di derivate aerodinamiche. [22 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, determinazione dei coefficienti di risposta del sistema mediante il rilievo dei valori simultanei delle variabili di volo, determinazione delle singole derivate aerodinamiche che definiscono le equazioni del moto, determinazione delle derivate aerodinamiche mediante l'analisi delle equazioni del moto; metodi semplificati per la misura di particolari derivate aerodinamiche, determinazione della derivata del coefficiente di momento di beccheggio fatta rispetto all'angolo di derapata, determinazione della derivata del coefficiente di portanza fatta rispetto all'angolo di incidenza, determinazione della derivata del coefficiente di momento di beccheggio fatta rispetto all'angolo di incidenza, determinazione della derivata del coefficiente di momento di beccheggio fatta rispetto al coefficiente di portanza, determinazione delle derivate aerodinamiche di stabilità e di smorzamento col metodo della rappresentazione vettoriale; accenno ai moti latero-direzionali.

ESERCITAZIONI

Non vi è una predefinita suddivisione tra lezioni ed esercitazioni: le esercitazioni si svolgeranno nel momento in cui il punto raggiunto dal programma delle lezioni lo richiederà. Alcune lezioni ed esercitazioni potranno essere tenute come conferenze da persone dell'industria esperte nel campo specifico.

BIBLIOGRAFIA

Non esistono libri di testo. Per la consultazione riguardo ad alcune parti del corso si consigliano i seguenti volumi:

- D.T. Ward, *Introduction to flight test engineering*, Elsevier, Amsterdam.
- B. Dickinson, *Aircraft stability and control for pilots and engineers*, Pitman, London.
- A. Lausetti, F. Filippi, *Elementi di meccanica del volo*, Levrotto & Bella, Torino.
- B. Etkin, *Dynamics of flight : stability and control*, Wiley, New York.

B5230 Strumentazione aeronautica

Anno: periodo 5:2

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6(7)+1+1(0) (ore settimanali); 90+14+6 (nell'intero periodo)

Docente: Lorenzo Borello

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 esorta a 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. [14 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 proprii perturbati dell'aeromobile; cenni alle cause che possono rendere sgradevole al pilotaggio la dinamica intrinseca della macchina; deduzione logica della concezione e del modo di operare 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. [8 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, cedevolezze, inerzie, attriti secchi sui sistemi controeazionati.

Comandi di volo: comportamento elettromeccanico e fluidodinamico (e scelta) di valvole di comando, tipi esistenti (EHV jet-pipe, 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. [8 ore]

Comandi di volo: 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. [8 ore]

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]

Piattaforme stabili e deduzione ragionata delle loro possibili concezioni e degli associati principi di funzionamento e logiche di controllo (classiche o Schuler-tuned) dell'asservimento di verticale nell'ambiente operativo costituito dal velivolo navigante e manovrante sul geode rotante; effetti delle imperfezioni costruttive dell'apparato; misura degli angoli di beccheggio e rollio. Generalizzazione del concetto e sua estrapolazione nella realizzazione delle piattaforme inerziali stabilizzate a sospensione cardanica ed ulteriormente in quella dei navigatori inerziali strap-down.

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]

– Piattaforma stabile a bordo di velivolo manovrante e suoi errori nel riferimento di verticale; studio ed esame critico del programma di simulazione esistente, nonché suo impiego finalizzato all'analisi degli errori prodotti da alcune tipiche manovre del velivolo in funzione di definite leggi di controllo dell'asservimento di verticale. [4 ore]

LABORATORIO

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).

B5330 Strutture aeronautiche

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Marco Di Sciuva

Scopo del corso è fornire agli allievi le basi per poter affrontare in modo critico un calcolo strutturale basato sui metodi analitici classici e sul metodo degli elementi finiti.

In particolare, il corso si propone di fornire le metodologie per l'analisi del comportamento statico (calcolo dello stato di sollecitazione), dinamico (frequenze e modi di vibrare) ed ai limiti di stabilità (carichi critici e modi di cedimento) di travi in parete sottile e piastre in materiale composito e *sandwich*, elementi strutturali tipici delle costruzioni aerospaziali. Tra le tecniche numeriche attualmente disponibili, particolare enfasi viene data al metodo degli elementi finiti.

REQUISITI. Il corso utilizza concetti, nozioni e metodologie dei corsi di *Analisi matematica*, *Matematica applicata*, *Meccanica applicata*, *Scienza delle costruzioni*, *Costruzioni aeronautiche*.

PROGRAMMA

Generalità sul progetto e l'analisi di una struttura. [4 ore]

Tema del progetto strutturale. Principali categorie dei requisiti di specifica. Le funzioni della struttura. I compiti dell'analisi strutturale. Ottimizzazione strutturale. Le prescrizioni regolamentari (criteri di rigidità, di robustezza e di elasticità; carichi agenti su una struttura: meccanici e termici; fatica). La sicurezza strutturale (criteri di progetto).

Algebra matriciale ed analisi strutturale. [4 ore]

Risoluzione di sistemi di equazioni algebriche lineari. Autovalori ed autovettori e loro interpretazione meccanica. Forme quadratiche e loro diagonalizzazione (interpretazione meccanica). Dinamica dei sistemi a parametri discreti (frequenze e modi di vibrare; tipi di smorzamento; risposta).

Elementi di meccanica dei continui. [6 ore]

Equazioni differenziali dell'equilibrio dei sistemi continui e condizioni al contorno. Equazioni costitutive in campo elastico per i materiali isotropi ed ortotropi in stato di tensione piano e stato di deformazione piano; rotazione della matrice dei coefficienti elastici; effetti igrotermici. Energia di deformazione elastica. Il principio dei lavori virtuali e sue applicazioni.

Teoria delle piastre. [4 ore]

Quadro sinottico dei metodi di risoluzione dei problemi strutturali. Problematiche di carattere generale sulle formulazioni di tipo assiomatico. I campi di spostamento assunti (ipotesi di Eulero-Bernoulli e di Timoshenko per le travi; ipotesi di Kirchhoff e di Mindlin per le piastre). I campi di tensione assunti (ipotesi di De Saint Venant per le travi; ipotesi di Reissner per le piastre).

Le piastre composite. [22 ore]

Macromeccanica dei compositi multistrato (teoria classica della laminazione). Lamine e laminato. Relazioni tensioni - deformazioni per una lamina unidirezionale ortotropa con fibre orientate in direzione arbitraria ed in stato di tensione piano. Modello piastra di Kirchhoff: derivazione delle equazioni del moto e delle condizioni al contorno. Rigidità membranali, di accoppiamento e flesso-torsionali per laminati simmetrici, bilanciati, *cross-ply*, *angle-ply*, ecc. Equazioni costitutive termoelastiche per le piastre

composite. La flessione sotto carico trasversale di piastre composite variamente vincolate. Le equazioni di oscillazione libera non smorzata. Frequenze e modi di vibrare di piastre piane rettangolari variamente vincolate. Le piastre irrigidite con nervature ortogonali e le piastre *sandwich*. Indici di bontà strutturale. L'influenza del taglio trasversale.

Il metodo degli elementi finiti. [30 ore]

Generalità. Il problema generale della ricerca di soluzioni a problemi strutturali. Soluzioni approssimate congruenti o equilibrate. L'approssimazione di una funzione con valori assegnati sul contorno. Polinomi di Lagrange e di Hermite. Metodi per la ricerca di soluzioni approssimate di tipo globale: il metodo di Galerkin ed il metodo di Rayleigh-Ritz. Il metodo degli elementi finiti come caso particolare di procedimenti approssimati per la risoluzione di equazioni differenziali. Fasi fondamentali del metodo: discretizzazione del continuo; scelta delle funzioni di forma; derivazione delle matrici di rigidezza e delle masse e del vettore dei carichi esterni dell'elemento; l'assemblaggio; il calcolo degli spostamenti, delle deformazioni e delle tensioni. Formulazione della matrice di rigidezza dell'elemento asta, dell'elemento trave in flessione e torsione e dell'elemento quadrangolare e triangolare in stato piano di deformazione col metodo diretto. Formulazione delle caratteristiche dell'elemento asta, dell'elemento trave in flessione e torsione e dell'elemento quadrangolare e triangolare in stato piano di tensione-col metodo energetico. Scelta delle funzioni di forma. L'integrazione numerica. L'uso delle condizioni di simmetria. Cenni sull'analisi dinamica delle strutture: la matrice delle masse e di smorzamento; analisi modale e risposta. Problemi di convergenza sul campo di spostamenti e di tensioni; autovalori. Cenni sui principali codici di calcolo strutturale disponibili sul mercato (NASTRAN, ABAQUS, STAGS).

Stabilità delle strutture. [14 ore]

Concetti di base sulla stabilità dell'equilibrio delle strutture. Rassegna fotografica di alcuni tipici fenomeni di cedimento strutturale per instabilità dell'equilibrio. Definizioni e criteri di stabilità (criterio energetico o del Dirichlet; criterio delle stati di equilibrio adiacenti o di Eulero; criterio dinamico; criterio delle imperfezioni iniziali). Studio della risposta non lineare e della stabilità di alcuni modelli elementari per l'analisi dell'instabilità a scatto (*buckling*) e degli effetti delle imperfezioni di forma. Discussione degli approcci presentati e dei risultati ottenuti. Equazioni di stabilità delle travi a sezione aperta in parete sottile e delle piastre piane multistrato sollecitate a compressione biassiale e taglio. Risultati analitici. Cenni sull'analisi nonlineare e di stabilità col metodo degli elementi finiti: la matrice di rigidezza geometrica.

ESERCITAZIONI (in aula)

1. Calcolo della matrice dei coefficienti di influenza di deformabilità e di rigidezza di un'ala a sbalzo suddivisa in più tronchi. [4 ore]
2. Calcolo delle frequenze proprie e dei modi di vibrare flessionali e torsionali dell'ala a sbalzo dell'es. 1. [2 ore]
3. Analisi flessionale di una trave composita: calcolo della deformata e della distribuzione delle tensioni normali e di taglio. Confronto fra varie teorie. [2 ore]
4. Analisi elastodinamica di una piastra rettangolare. Confronto fra una piastra omogenea ed isotropa, una composita ed una irrigidita. [4 ore]
5. Applicazione del metodo degli elementi finiti: analisi statica e dinamica della trave delle es. 1 e 2. [4 ore]
6. Applicazione del metodo degli elementi finiti: analisi statica e dinamica di un castello motore a traliccio col metodo degli elementi finiti. [4 ore]
7. Carichi critici di piastre rettangolari. Confronto fra piastre omogenee ed isotrope, composite ed irrigidite. [2 ore]

LABORATORIO (informatico)

8. Impiego di un codice di calcolo agli elementi finiti: analisi statica di una piastra forata sollecitata a trazione. [6 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Appunti forniti dal docente.

Testi per approfondimenti:

T.H.G. Megson, *Aircraft structures*, Arnold, 1990.

R.M. Jones, *Mechanics of composite materials*, McGraw-Hill Kogakusha, 1975.

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

O.C. Zienkiewicz, *The finite element method*, McGraw-Hill, 1986.

J.N. Reddy, *An introduction to the finite element method*, McGraw-Hill, 1984.

B5370 Strutture spaziali

Anno: periodo 2:1 SIA Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Ugo Icardi

Il corso si propone di fornire agli allievi una rassegna di alcune delle principali tematiche dell'analisi strutturale delle strutture spaziali, di formulare i modelli comportamentali dei fenomeni fisici coinvolti e di fornire gli strumenti metodologici, sia analitici, sia numerici, per la soluzione. Enfasi viene data al metodo degli elementi finiti, di cui vengono discusse le peculiarità legate al tipo di problematiche affrontate; vengono inoltre discusse le principali caratteristiche di alcuni dei più diffusi codici commerciali agli elementi finiti in uso nell'industria spaziale.

Oggetto del corso è lo studio degli aspetti tipici delle strutture spaziali, quali la risposta statica, l'analisi modale, l'analisi della stabilità e le problematiche del controllo. Tra queste ultime sono comprese quelle del moderno controllo attivo con sensori ed attuatori diffusi delle strutture intelligenti. Particolare riguardo è riservato all'analisi di elementi strutturali ortotropi ed anisotropi, sia stratificati che non.

Il corso viene a costituire un complemento delle nozioni fornite nel corso di *Strutture aeronautiche*.

REQUISITI

Viene fatto uso di nozioni fornite nei corsi di *Analisi matematica*, *Progetto di aeromobili*, *Matematica applicata*, *Strutture aeronautiche*.

PROGRAMMA

Inquadramento dell'analisi delle strutture spaziali nell'ambito del progetto. [4 ore]

Strutture dei sistemi spaziali. Funzioni degli elementi strutturali e problematiche connesse. Prescrizioni regolamentari: carichi meccanici, termici ed affaticanti agenti sulle strutture; criteri di rigidità, robustezza ed elasticità. Criteri di progetto per la sicurezza strutturale. Pertinenze e obiettivi dell'analisi strutturale.

Metodi approssimati per la soluzione dei problemi di analisi strutturale. [11 ore]

Modellizzazione dei problemi strutturali ed analisi delle equazioni connesse. Modelli lineari e nonlineari come casi esemplificativi di tipici problemi strutturali: problemi di risposta, problemi di stabilità, problemi dinamici. Il metodo dei residui pesati per la ricerca di soluzioni analitiche; particolarizzazione al metodo delle collocazioni, al metodo dei sottodomini, al metodo di Petrov-Galerkin ed al metodo di Galerkin. Richiami di analisi funzionale: funzionali, massimi e minimi di funzionali, equazioni di

Eulero. Soluzioni analitiche mediante il metodo variazionale di Rayleigh-Ritz. Condizioni di equivalenza dei metodi di Rayleigh-Ritz e di Galerkin. Il metodo degli elementi finiti come applicazione delle precedenti approssimazioni ad una suddivisione in sottodomini.

Problemi di stabilità dell'equilibrio elastico delle strutture. [15 ore]

Individuazione dei punti critici. Classificazione dei tipi di comportamento al punto critico: punti di biforcazione e punti limite. Problemi di stabilità come problemi di autovalori, o come problemi di risposta. Effetto delle imperfezioni sul comportamento alla stabilità. Approcci perturbativi: approccio analitico di Koiter ed analisi di sensibilità alle imperfezioni di forma con il *B-method*. Applicazione all'analisi di gusci nervati imperfetti (metodologie di Arbocz); aspetti salienti della soluzione dei problemi di *pre-buckling*, *buckling* e *post-buckling* come problemi *two-point* risolti con metodologie di *shooting* (metodo di Keller). Approcci continuativi: aspetti salienti delle metodologie *path-followers* ed esame critico di tali metodologie. Applicazione all'analisi di stabilità di gusci multistrato anisotropi. Esame critico delle metodologie in uso nei più diffusi codici commerciali *multi-purpose* (Nastran, Abaqus) e in codici specifici per l'analisi di stabilità (Stags): campi di applicazione, accuratezza.

Problemi dinamici delle strutture. [15 ore]

Analisi della risposta di sistemi continui e di sistemi discreti come loro modellizzazione. Equazioni del moto, oscillazioni libere non smorzate, problemi dell'accoppiamento statico e dinamico. Analisi modale, influenza dello smorzamento, funzione densità spettrale di potenza della risposta, risposta a forze eccitatrici *random*.

Problematiche di controllo delle strutture. [15 ore]

Generalità e obiettivi del controllo; comandi disturbi, uscite. Identificazione di sistemi di controllo generici e specifici per le strutture. Sistemi strutturali dinamici soggetti a controllo: classificazione formale, equazioni comportamentali, schemi a blocchi, funzioni di trasferimento. Forme di rappresentazione mediante variabili di stato, variabili fisiche, variabili canoniche, variabili di fase e loro relazioni. Studio dei sistemi lineari invariante retroazionati: specifiche di progetto sulla rapidità di risposta o sulla precisione; comparazione delle prestazioni e dei difetti. Indice di merito quadratico. Stabilità dei sistemi lineari invariante. Il metodo diretto di Liapunov; discussione e confronto con le metodologie classiche precedentemente analizzate e loro inquadramento nel metodo diretto. Equazione di Riccati per il progetto di sistemi con controllo ottimo con indice di merito quadratico. Introduzione al controllo attivo mediante sensori ed attuatori diffusi. Problematiche ed esempi applicativi nel controllo delle deformate, della stabilità statica e del comportamento vibrazionale di elementi multistrato accoppiati con attuatori e sensori piezoelettrici.

Formulazione di elementi finiti deformabili al taglio trasversale. [20 ore]

Rassegna di modellizzazioni analitiche che considerano il taglio trasversale per lo studio delle strutture multistrato. Cinematica della deformazione della normale; confronto delle prestazioni nella determinazione di deflessioni, pulsazioni proprie e carichi critici. Cenni su modelli *discrete-layer* per l'analisi delle tensioni nello spessore dei laminati. Espressione dell'energia di deformazione elastica. Identificazione dei contenuti peculiari dei vari modelli: requisiti di continuità delle derivate degli spostamenti e scelta opportuna delle funzioni di forma. Formulazione delle matrici di rigidità, di rigidità tangente, delle masse e del vettore dei carichi esterni dell'elemento deformabile al taglio trasversale. Assemblaggio. Rassegna di elementi finiti deformabili al taglio trasversale. Studio comparativo delle prestazioni di elementi deformabili a taglio e non nell'analisi del comportamento pre-critico, critico, post-critico e del comportamento dinamico di piastre e gusci multistrato variamente vincolati e caricati e con varie stratificazioni.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni si svolgono in parte in aula, in parte presso i laboratori informatico e strutturale del Dipartimento. Esse hanno lo scopo di risolvere semplici problemi in cui vengono applicati i concetti e le metodologie viste a lezione e di familiarizzare con strumenti di calcolo in uso nell'industria aerospaziale.

1. Soluzione approssimata di problemi *test* mediante il metodo dei residui pesati, e dei metodi che in esso si particolarizzano. [8 ore]
2. Soluzione del problema di stabilità di gusci cilindrici isotropi nell'ambito dell'approccio perturbativo. [6 ore]
3. Esercizi di applicazione delle metodologie di controllo. [4 ore]

LABORATORIO

1. Soluzione del problema di stabilità della precedente esercitazione mediante il codice Stags; analisi dell'effetto delle imperfezioni geometriche. [6 ore]
2. Valutazione sperimentale dei modi di vibrare di elementi strutturali. [2 ore]
3. Prove di laboratorio sugli effetti dell'uso di circuiti di controllo passivo nello smorzamento delle vibrazioni di semplici elementi strutturali accoppiati con lamine di materiale piezoelettrico. [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Appunti forniti dal docente

Testi per approfondimenti:

R.J. Knops, E.W. Wilkes, *Theory of elastic stability*. In: *Handbook of physics*, VIa, Vol. 3, p. 125-302, Springer, 1973.

W.T. Koiter, *Elastic stability, buckling and postbuckling*. In: D.E. Carlson, R.T. Shield ed., The Hague, p. 13-24, 1981.

E. Riks, *Some computational aspects of the stability analysis of nonlinear structures*. In: *Comp. Meth. in Appl. Mech. and Eng.*, Vol. 47 (1984), p. 219-259.

O.C. Zienkiewicz, *The finite element method*, McGraw-Hill, New York, 1986.

J.J. D'Azzo, C.H. Houpis, *Linear control system analysis and design, conventional and modern*, McGraw-Hill, New York, 1988.

B5640 **Tecnologia meccanica**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Francesco Spirito

Scopo del corso è fornire l'insieme di nozioni necessarie a comprendere come possa essere prodotto ed utilizzato un particolare meccanico; studiare i fondamenti teorici dei processi di lavorazione con asportazione di materiale e per deformazione plastica.

REQUISITI. Si richiedono conoscenze di *Disegno meccanico*, *Scienza delle Costruzioni* e *Meccanica applicata*.

PROGRAMMA

Generalità. [6 ore]

Tipologie di industrie. Funzioni aziendali.

Tipologie di *plant layout*. Automazione industriale

Analisi dei tempi. Gestione degli *stock*.

Taglio dei metalli. [6 ore]

Relazione fra tensioni e deformazioni.

Utensile elementare monotagliante.

Meccanica della formazione del truciolo.

Analisi delle forze di taglio. Criteri di plasticità.

Formazione del truciolo. [4 ore]

Angoli di spoglia. Spessore del trucioli.

Larghezza e velocità di taglio. Tagliante di riporto.

Taglio tridimensionale. [5 ore]

Tornitura. Fresatura. Foratura.

Durata utensili e lavorabilità materiali metallici. [4 ore]

Durata degli utensili.

Materiali e loro lavorabilità.

Azionamenti delle macchine utensili. [5 ore]

Motori elettrici. Cambi di velocità.

Azionamenti oleodinamici. Organi di regolazione.

Macchine a CN. [6 ore]

Principi del comando numerico.

Elementi di supporto alle informazioni.

Unità di governo. Trasduttori di posizione.

Metodi fisici e chimici di lavorazione. [6 ore]

Elettroerosione. Fresatura chimica.

Lavorazioni elettrochimiche.

Lavorazioni ad ultrasuoni. Fascio elettronico.

Lavorazioni con il plasma. Lavorazioni con il laser.

Lavorazioni per deformazione plastica. [6 ore]

Determinazione lavoro di deformazione.

Estrusione. Trafilatura. Fucinatura e stampaggio. Laminazione.

Lavorazione delle lamiere: tranciatura ed imbutitura.

ESERCITAZIONI

Macchine ad asportazione di truciolo. [2 ore]

Generalità. Azionamenti.

Cicli di lavorazione. [2 ore]

Generalità. Valutazione parametri di taglio.

Macchine per tornitura, foratura, fresatura, rettificatura, limatura, piallatura.

[4 ore x 6 = 24 ore tot.]

Tipologie di macchina. Analisi della macchina. Utensili per la lavorazione.

Cicli di lavorazione. [8 ore]

Analisi particolari da fabbricare. Stesura sequenza operazioni. Scelta delle macchine operatrici. Valutazione parametri di taglio.

LABORATORI

Macchina a CN. [4 ore]

Analisi della macchina. Lavorazione di un particolare.

Costruzione di particolari con MU. [8 ore]

Analisi del particolare. Montaggio sulla macchina. Scelta parametri di taglio. Lavorazione e controlli.

BIBLIOGRAFIA

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

ESAME

Si articola in due parti: una prova scritta ed una prova orale. La prova scritta comprende argomenti di teoria ed esercizi di calcolo. Il raggiungimento di una valutazione sufficiente è essenziale per l'ammissione all'orale. Lo studente è guidato nella valutazione dell'elaborato da un peso assegnato ad ogni singolo esercizio. La parte fiscale dell'esame (consegna dello statino) ha inizio al momento in cui l'allievo consegna l'elaborato: pertanto è data ampia facoltà allo studente di ritirarsi in qualunque momento durante la prova scritta. La prova orale inizia con la discussione dell'elaborato e prosegue con un colloquio che può toccare argomenti dell'intero programma del corso.

B5930 Teoria matematica dei controlli

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Andrea Bacciotti

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 predeutiche, quelle fornite nei corsi di *Analisi matematica 1 e 2*, *Geometria e Meccanica razionale*.

PROGRAMMA

1. *Introduzione ai sistemi di controllo.* [4 ore]

Nozioni generali, l'operatore ingresso-uscita, la nozione di stato, esempi.

2. *Complementi di analisi e geometria.* [8 ore]

Equazioni differenziali (esistenza di soluzioni locali, unicità delle soluzioni locali, soluzioni massimali, soluzioni globali, soluzioni derivabili a tratti).

Algebra lineare (spazi vettoriali, applicazioni lineari, matrici autovalori, autovettori, forma di Jordan).

3. *Sistemi di equazioni lineari.* [6 ore]

Equivalenza lineare, calcolo della matrice esponenziale, stima asintotica delle soluzioni, sistemi non omogenei, equazioni scalari di ordine $n > 1$, matrice compagna.

4. *Trasformata di Laplace.* [6 ore]

Funzioni di variabile complessa, funzioni generalizzate, definizione e proprietà, trasformate notevoli, applicazioni ai sistemi differenziali.

5. *Sistemi autonomi e teoria della stabilità.* [16 ore]

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.

6. *Proprietà strutturali dei sistemi con ingressi.* [16 ore]

Controllabilità, osservabilità. L'insieme raggiungibile per i sistemi lineari, l'equivalenza lineare e la forma di Kalman, la funzione di trasferimento, l'equivalenza *feedback*, stabilizzabilità.

7. *Calcolo delle variazioni.* [18 ore]

Estremanti forti e deboli, l'equazione di Eulero, estremali spezzate, l'interpretazione Hamiltoniana, condizioni di Legendre, condizioni di trasversalità, estremi vincolati.

8. *Controllo ottimo.* [10 ore]

Principio di massimo di Pontrjagin, problema del tempo minimo.

BIBLIOGRAFIA. Dispense redatte dal docente.

Tavola alfabetica dei docenti

Docente (dipartimento) // codice : corso [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

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

p. 32 B 462 0 : *Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali* [2:2]

TEL 564'4672. Orario di ricevimento: martedì 16:30-18:30; inoltre gli allievi possono contattare telefonicamente il docente per fissare gli incontri.

Prof. **Ettore Antona** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 93 B 426 0 : *Progetto dei sistemi aerospaziali* [5:2]

58 B 428 0 : *Progetto di aeromobili* [5:1]

Orario di ricevimento: pubblicato in Dipartimento.

Prof. **Renzo Arina** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 81 B 222 2 : *Gasdinamica 2* [5:2]

TEL 564'6830, EM arina@polito.it. Orario di ricevimento: orario d'ufficio.

Prof. **Andrea Bacciotti** (*Matematica*)

p. 109 B 593 0 : *Teoria matematica dei controlli* [3:2]

TEL 564'7548, EM bacciotti@polito.it. Orario di ricevimento: concordato all'inizio del corso.

Prof. **Lorenzo Borello** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 100 B 523 0 : *Strumentazione aeronautica* [5:2]

TEL 564'6823. Orario di ricevimento: lunedì 16:30-19, venerdì 10:30-12.

Prof. **Giuseppe Bussi** (*Energetica*)

p. 57 B 383 0 : *Motori per aeromobili* [5:1]

TEL 564'4414 (G. Bussi), 4479 (D. Pastrone). Orario di ricevimento: in generale, in orario normale di lavoro; in particolare, nell'orario esposto nella bacheca del Dipartimento.

Prof. **Claudio Cancelli** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 75 B 209 0 : *Fluidodinamica ambientale* [2:2 SIA]

TEL 564'6815. Orario di ricevimento: concordato con gli studenti.

Prof. **Claudio Canuto** (*Matematica*)

p. 13 B 023 1 : *Analisi matematica I* [1:1]

66 B 051 0 : *Calcolo numerico* [3:2]

TEL 564'7543, FAX 564'7599, EM ccanuto@polito.it. Orario di ricevimento: consultare la bacheca presso il Dipartimento.

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Mario Chiampi** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 31 B 1790 : *Elettrotecnica* [2:2]

Orario di ricevimento: dal lunedì al venerdì, 18:30-19-30; su appuntamento in altre ore. Durante lo svolgimento del corso, tutti i mercoledì dalle 14:30 alle 18:30 vengono svolti esercizi supplementari e forniti chiarimenti da parte di coadiutori.

Prof. **Sergio Chiesa** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 82 B 2570 : *Impianti aeronautici* [5:1]

TEL 564'6805, 6850, 6816. Orario di ricevimento: prima e dopo le lezioni, o su appuntamento.

Prof. **Gianfranco Chiocchia** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 87 B 3960 : *Principi di aeroelasticità* [5:2]

TEL 564'6845. Orario di ricevimento: lunedì 14:30-16:30, giovedì 14:30-16:30.

Prof. **Margherita Clerico** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 55 B 5660 : *Tecnologie delle costruzioni aeronautiche* [4:2]

TEL 564'6818. Orario di ricevimento: 10-12.

Prof. **Guido Colasurdo** (*Energetica*)

p. 94 B 4380 : *Propulsione aerospaziale* [5:1]

96 B 6110 : *Propulsori astronautici* [2:1 SIA]

TEL 564'4426 (G. Colasurdo), 4479 (D. Pastrone). Orario di ricevimento: in generale, in orario normale di lavoro; in particolare, nell'orario esposto nella bacheca del Dipartimento.

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

p. 86 B 3310 : *Meccanica del volo dell'elicottero* [5:2]

Prof. **Guido de Matteis** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 49 B 3300 : *Meccanica del volo* [4:1]

TEL 564'6808, EM dema@polito.it. Orario di ricevimento: martedì 12:30-14:30, mercoledì 10:30-12:30.

Prof. **Piero Demichelis** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 28 B 2170 : *Fondamenti di informatica* [2:1]

Orario di ricevimento: avviso affisso nelle bacheche dei dipartimenti elettrici.

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

p. 103 B 5330 : *Strutture aeronautiche* [5:1]

TEL 564'6826. Orario di ricevimento: nel 1. periodo didattico, in funzione dell'orario del corso; nel 2. periodo, lunedì e mercoledì, 9-11.

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Maria Teresa Galizia Angeli** (*Matematica*)

p. 24 B 023 2 : *Analisi matematica 2* [2:1]

Modalità di contatto con il docente:

- a) frequentare le lezioni e le esercitazioni;
- b) presentarsi durante le ore di ricevimento (l'orario è affisso presso la segreteria del Dipartimento).

Prof. **Giancarlo Genta** (*Ing. meccanica*)

p. 89 P 402 0 : *Principi e metodologie della progettazione meccanica* [5:1]

TEL 564'6901, FAX 564'6999, EM genta@polito.it. Orario di ricevimento: due ore alla settimana.

Prof. **Massimo Germano** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 54 B 222 0 : *Gasdinamica* [4:2]

M. Germano: TEL 564'6814. Orario di ricevimento: lunedì 16:30-18:30, mercoledì 14:30-16:30. G. Iuso: TEL 564'6830. Orario di ricevimento: martedì 14:30-16:30, giovedì 14:30-16:30.

Prof. **Piero Gili** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 97 B 510 0 : *Sperimentazione di volo* [5:2]

TEL 564'6854. Orario di ricevimento: martedì 15-16.

Prof. **Muzio M. Gola** (*Ing. meccanica*)

p. 51 B 094 0 : *Costruzione di macchine* [4:2]

Orario di ricevimento: due volte per settimana, da concordare in funzione dell'orario definitivo degli impegni didattici.

Prof. **Francesco Gregoretti** (*Ing. elettronica*)

p. 45 B 171 0 : *Elettronica applicata* [4:1]

TEL 564'4081, EM gregor@rose.polito.it. Orario di ricevimento: lunedì 14:30-16:30, o su appuntamento.

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

p. 61 B 153 0 : *Economia ed organizzazione aziendale* [5:2]

TEL 564'7255 (Marco Gallea 7232; Emilio Paolucci 7420). Orario di ricevimento: lunedì 15:00-16:30.

Prof. **Antonio Iannibello** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 15 B 062 0 : *Chimica* [1:1]

Orario di ricevimento: mercoledì, ore 14-16.

Prof. **Ugo Icardi** (29)

p. 105 B 537 0 : *Strutture spaziali* [2:1 SIA]

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Gaetano Iuso** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 79 B 2140 : *Fluidodinamica sperimentale* [2:1 SIA]

TEL 564'6830. Orario di ricevimento: orario d'ufficio.

Prof. **Elio Miraldi** (*Fisica*)

p. 19 B 1901 : *Fisica I* [1:2]

Nelle ore di laboratorio i docenti sono a disposizione degli studenti della stessa squadra (A o B) che non siano impegnati nei laboratori stessi, per consulenze sui temi trattati a lezione e per seguire e discutere in un'aula del Dipartimento appositamente attrezzata (aula Perucca) una serie di esperimenti di fisica classica e moderna, registrati su video-dischi.

Prof. **Piero Morelli** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 41 B 1030 : *Costruzioni aeronautiche* [3:2]

70 B 1250 : *Dinamica del volo* [5:1]

Orario di ricevimento:

(Corso B 1030). In ore destinati a colloqui in aula, nell'orario delle lezioni ed esercitazioni.

(Corso B 1252). Nell'ora successiva alle lezioni, o in ore diverse indicate all'inizio del corso (ufficio del docente nel Dipartimento).

Prof. **Patrizio Nuccio** (*Energetica*)

p. 46 B 3110 : *Macchine* [4:1]

Orario di ricevimento: indicato in bacheca del Dipartimento all'inizio del semestre.

Prof. **Michele Onorato** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 64 B 0080 : *Aerodinamica sperimentale* [5:2]

(Docente e collaboratori). Nei giorni lavorativi, nei rispettivi uffici.

Prof. **Maurizio Pandolfi** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 63 B 0052 : *Aerodinamica 2* [5:1]

TEL 564'6810, EM pandolfi@polito.it. Il docente può essere contattato senza preavviso o limitazioni d'orario, nei limiti della sua disponibilità al momento.

Prof. **Miriam Pandolfi Bianchi** (*Matematica*)

p. 84 B 3170 : *Matematica applicata* [3:2]

TEL 564'7532. Orario di ricevimento: venerdì 10:30-12:30.

Prof. **Dario Pastrone** (*Energetica*)

p. 73 B 1800 : *Endoreattori* [5:2]

TEL 564'4479 (D. Pastrone), 4426 (G. Colasurdo). Orario di ricevimento: in generale, in orario normale di lavoro; in particolare, nell'orario esposto nella bacheca del Dipartimento.

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Fulvia Quagliotti** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 71 B 1252 : *Dinamica del volo 2* [5:2]

TEL 564'6819. Orario di ricevimento: lunedì, mercoledì, venerdì 10:30-12:30 (salvo sovrapposizione con orario di lezione).

Prof. **Rita Quenda** (*Ing. meccanica*)

p. 22 B 1430 : *Disegno tecnico industriale* [1:2]

TEL 564'6938. Orario di ricevimento: martedì 14:30-16:30; giovedì 8:30-12:30.

Prof. **Fiorenzo Quori** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 34 B 0050 : *Aerodinamica* [3:1]

Prof. **Riccardo Riganti** (*Matematica*)

p. 29 B 3370 : *Meccanica razionale* [2:2]

TEL 564'7537. Orario di ricevimento: giovedì 9-10:30.

Prof. **Maria Teresa Rivolo** (*Matematica*)

p. 17 B 2300 : *Geometria* [1:2]

TEL 564'7546, FAX 564'7599. Orario di ricevimento: due ore settimanali, secondo l'orario esposto in bacheca del Dipartimento (lato Sud).

Prof. **Piero Rolando** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 15 B 0620 : *Chimica* [1:1]

Orario di ricevimento: mercoledì, ore 14-17.

Prof. **Maria Rosa Rolando Mejnardi** (*Matematica*)

p. 29 B 3370 : *Meccanica razionale* [2:2]

Prof. **Giulio Romeo** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 91 B 4190 : *Progettazione di strutture aerospaziali* [5:2]

TEL 564'6820. Orario di ricevimento: lunedì-venerdì, 10-13:30 e 14:30-17:30 (su appuntamento).

Prof. **Giuseppe Ruscica** (*Energetica*)

p. 36 B 2060 : *Fisica tecnica* [3:1]

TEL 564'4434. Orario di ricevimento: bacheca del Dipartimento (1. piano, lato Macchine).

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

p. 108 B 5640 : *Tecnologia meccanica* [5:2]

TEL 564'7259. Orario di ricevimento: accesso libero.

Docente (dipartimento) // codice : corso [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Giuseppe Surace** (Ing. aeronautica e spaziale)

p. 65 B 0090 : *Aeroelasticità applicata* [2:2 SIA]

68 B 1032 : *Costruzioni aeronautiche 2* [5:2]

TEL 564'6821, EM surace@polito.it. Orario di ricevimento: tutti i giorni dalle 10 alle 12; martedì, mercoledì e giovedì previo appuntamento.

Prof. **Angelo Tartaglia** (Fisica)

p. 26 B 1902 : *Fisica 2* [2:1]

TEL 564'7328, EM tartaglia@polito.it. Orario di ricevimento: martedì 14:30-16:30.

Prof. **Silvio Valente** (Ing. strutturale)

p. 39 B 4600 : *Scienza delle costruzioni* [3:1]

TEL 564'4853. Orario di ricevimento: giovedì, venerdì 11-12.

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

p. 15 B 0620 : *Chimica* [1:1]

Orario di ricevimento: mercoledì, ore 14:30-16:30.

Prof. **Furio Vatta** (Ing. meccanica)

p. 43 B 3210 : *Meccanica applicata alle macchine* [3:2]

TEL 564'6925. Orario di ricevimento: martedì 8:30-10:30.

Prof. **Luca Zannetti** (Ing. aeronautica e spaziale)

p. 77 B 2120 : *Fluidodinamica delle turbomacchine* [5:2]

TEL 564'6822, 6824, 6805, EM zannetti@polito.it. Orario di ricevimento: lunedì-venerdì 9:30-12:30, 14:30-18:30.

Tavola alfabetica degli insegnamenti

| <i>p.</i> | <i>codice</i> | <i>corso [anno:periodo] // docenti</i> |
|-----------|---------------|--|
| 34 | B 005 0 | Aerodinamica [3:1] Prof. Fiorenzo Quori |
| 63 | B 005 2 | Aerodinamica 2 [5:1] Prof. Maurizio Pandolfi |
| 64 | B 008 0 | Aerodinamica sperimentale [5:2] Prof. Michele Onorato |
| 65 | B 009 0 | Aeroelasticità applicata [2:2 SIA] Prof. Giuseppe Surace |
| 13 | B 023 1 | Analisi matematica 1 [1:1] Prof. Claudio Canuto |
| 24 | B 023 2 | Analisi matematica 2 [2:1] Prof. Maria Teresa Galizia Angeli |
| 66 | B 051 0 | Calcolo numerico [3:2] Prof. Claudio Canuto |
| 15 | B 062 0 | Chimica [1:1] Prof. Antonio Iannibello, Piero Rolando, Mario Vallino |
| 51 | B 094 0 | Costruzione di macchine [4:2] Prof. Muzio M. Gola |
| 41 | B 103 0 | Costruzioni aeronautiche [3:2] Prof. Piero Morelli |
| 68 | B 103 2 | Costruzioni aeronautiche 2 [5:2] Prof. Giuseppe Surace |
| 70 | B 125 0 | Dinamica del volo [5:1] Prof. Piero Morelli |
| 71 | B 125 2 | Dinamica del volo 2 [5:2] Prof. Fulvia Quagliotti |
| 72 | B 126 0 | Dinamica del volo spaziale [2:2 SIA] |
| 22 | B 143 0 | Disegno tecnico industriale [1:2] Prof. Rita Quenda |
| 61 | B 153 0 | Economia ed organizzazione aziendale [5:2] Prof. Gianni Guerra |
| 45 | B 171 0 | Elettronica applicata [4:1] Prof. Leonardo Reyneri |
| 31 | B 179 0 | Elettrotecnica [2:2] Prof. Mario Chiampi |
| 73 | B 180 0 | Endoreattori [5:2] Prof. Dario Pastrone |
| 19 | B 190 1 | Fisica 1 [1:2] Prof. Elio Miraldi |
| 26 | B 190 2 | Fisica 2 [2:1] Prof. Angelo Tartaglia |

| <i>p.</i> | <i>codice</i> | <i>corso [anno:periodo] // docenti</i> |
|-----------|---------------|--|
| 36 | B 206 0 | Fisica tecnica [3:1] Prof. Giuseppe Ruscica |
| 75 | B 209 0 | Fluidodinamica ambientale [2:2 SIA] Prof. Claudio Cancelli |
| 76 | B 610 0 | Fluidodinamica dei sistemi propulsivi [2:1 SIA] |
| 77 | B 212 0 | Fluidodinamica delle turbomacchine [5:2] Prof. Luca Zannetti |
| 79 | B 214 0 | Fluidodinamica sperimentale [2:1 SIA] Prof. Gaetano Iuso |
| 28 | B 217 0 | Fondamenti di informatica [2:1] Prof. Piero Demichelis |
| 54 | B 222 0 | Gasdinamica [4:2] Prof. Massimo Germano |
| 81 | B 222 2 | Gasdinamica 2 [5:2] Prof. Renzo Arina |
| 17 | B 230 0 | Geometria [1:2] Prof. Maria Teresa Rivolo |
| 82 | B 257 0 | Impianti aeronautici [5:1] Prof. Sergio Chiesa |
| 46 | B 311 0 | Macchine [4:1] Prof. Patrizio Nuccio |
| 84 | B 317 0 | Matematica applicata [3:2] Prof. Miriam Pandolfi Bianchi |
| 43 | B 321 0 | Meccanica applicata alle macchine [3:2] Prof. Furio Vatta |
| 49 | B 330 0 | Meccanica del volo [4:1] Prof. Guido de Matteis |
| 86 | B 331 0 | Meccanica del volo dell'elicottero [5:2] Prof. Salvatore D'Angelo |
| 29 | B 337 0 | Meccanica razionale [2:2] Prof. Riccardo Riganti, Maria Rosa Rolando Mejnardi |
| 57 | B 383 0 | Motori per aeromobili [5:1] Prof. Giuseppe Bussi |
| 87 | B 396 0 | Principi di aeroelasticità [5:2] Prof. Gianfranco Chiocchia |
| 89 | P 402 0 | Principi e metodologie della progettazione meccanica [5:1] Prof. Giancarlo Genta |
| 91 | B 419 0 | Progettazione di strutture aerospaziali [5:2] Prof. Giulio Romeo |
| 93 | B 420 0 | Progettazione e costruzione di macchine speciali [5:1] |
| 93 | B 426 0 | Progetto dei sistemi aerospaziali [5:2] Prof. Ettore Antona |
| 58 | B 428 0 | Progetto di aeromobili [5:1] Prof. Ettore Antona |

| <i>p.</i> | <i>codice</i> | <i>corso [anno:periodo] // docenti</i> |
|-----------|---------------|--|
| 94 | B 438 0 | Propulsione aerospaziale [5:1] Prof. Guido Colasurdo |
| 96 | B 611 0 | Propulsori astronautici [2:1 SIA] Prof. Guido Colasurdo |
| 39 | B 460 0 | Scienza delle costruzioni [3:1] Prof. Silvio Valente |
| 32 | B 462 0 | Scienza e tecnologia dei materiali aeronautici ed aerospaziali [2:2] Prof. Fedele Abbattista |
| 97 | B 510 0 | Sperimentazione di volo [5:2] Prof. Piero Gili |
| 100 | B 523 0 | Strumentazione aeronautica [5:2] Prof. Lorenzo Borello |
| 103 | B 533 0 | Strutture aeronautiche [5:1] Prof. Marco Di Sciuva |
| 105 | B 537 0 | Strutture spaziali [2:1 SIA] Prof. Ugo Icardi |
| 108 | B 564 0 | Tecnologia meccanica [5:2] Prof. Francesco Spirito |
| 55 | B 566 0 | Tecnologie delle costruzioni aeronautiche [4:2] Prof. Margherita Clerico |
| 109 | B 593 0 | Teoria matematica dei controlli [3:2] Prof. Andrea Bacciotti |