

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



POLITECNICO DI TORINO

Ingegneria meccanica

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

I Facoltà di ingegneria

Preside: 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. Roberto Napoli
Prof. Agostino Villa
Prof. Paolo Prinetto
 Prof. Mario Pent
 Prof. Carlo Naldi
 Prof. Paolo Prinetto
Prof. Carlo Gianoglio
Prof. Rosolino Ippolito
Prof. Evasio Lavagno

Il Facoltà di ingegneria (sede di Vercelli)

Preside: 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 dicembre 1995

Litografia Geda – Via Villa Glori 6 – Torino

Indice

5	Presentazione
	Programmi degli insegnamenti
21	comuni ai diversi indirizzi e orientamenti
87	d'indirizzo e d'orientamento
177	Tavola alfabetica dei docenti
187	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.

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

Ogni corso di laurea corrisponde a 29 annualità complessive, ripartite, in ognuno dei cinque anni di corso, su due *periodi didattici* (detti anche impropriamente semestri); ogni periodo didattico è di durata pari ad almeno 13 settimane effettive di attività. Un'altra novità introdotta dal DPR 20 maggio 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 minimi 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.

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

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

Corso di laurea in

Ingegneria meccanica

Profilo professionale

Nel modificare i già numerosi piani di studio corrispondenti al precedente ordinamento per formulare piani di studio in accordo con l'ordinamento generale degli studi di ingegneria entrato in vigore in Italia nel 1989, il Consiglio di Corso di Laurea in *Ingegneria meccanica* ha previsto un organico insieme di insegnamenti, in grado di fornire agli allievi una solida cultura di base e l'acquisizione dei metodi di studio e di lavoro necessari per lo svolgimento dell'attività di ingegnere industriale meccanico: tenendo conto della lunga ed apprezzata tradizione culturale dell'insegnamento dell'ingegneria meccanica nel Politecnico di Torino, senza sacrificare gli insegnamenti base tipici del corso di laurea, si è arricchito il *curriculum* di studi con quelle discipline che si sono rese necessarie, sia per semplici motivi di aggiornamento culturale, sia per consentire di affrontare problemi multisettoriali, sia per porre l'ingegnere meccanico in condizione di collaborare efficacemente con ingegneri e tecnici di altra area culturale.

Gli sbocchi professionali previsti per l'ingegnere meccanico sono offerti in larga misura dalle industrie, di piccole, medie e grandi dimensioni, e non soltanto da quelle operanti nel settore meccanico, ma anche da quelle operanti nei settori elettrotecnico, aeronautico ed aerospaziale, chimico, etc. In esse l'ingegnere meccanico ha notevoli possibilità di intervento nei settori: ricerca e sviluppo, progettazione, conduzione e gestione di processi produttivi e di grandi impianti.

Neolaureati in *Ingegneria meccanica* vengono sempre più assunti da società di consulenza aziendali, anche operanti in settori non esclusivamente meccanici, e non mancano le possibilità di esercizio della libera professione, spesso come consulente di enti ed imprese, ovvero quella di impiego presso centri di ricerca pubblici e privati, o presso amministrazioni pubbliche diverse.

Considerando tali prospettive di attività, sono stati ideati piani di studio volti a preparare un ingegnere meccanico che presenti le seguenti caratteristiche:

- sia dotato di una solida preparazione ad ampio spettro che gli consenta di intervenire nella grande varietà di attività ingegneristiche appena citate, con una preparazione mirata a sviluppare le capacità di interpretazione e di schematizzazione di fenomeni fisici anche complessi;
- sia dotato di una cultura matematica tale da consentirgli di affrontare con i moderni strumenti matematici, in modo analitico e numerico, problemi anche di tipo probabilistico;
- abbia la capacità di analizzare le complessità dei fenomeni e di sintetizzarle in modelli di tipo comportamentale e funzionale;
- sia in grado di intendere ragionamenti ed esigenze dei tecnici di altra area culturale;
- sia in grado di inquadrare i processi produttivi del settore in cui opera nel quadro economico locale e nell'ambito della specifica politica economica nazionale.

Insegnamenti obbligatori

Il riordino degli insegnamenti impartiti nelle Facoltà di ingegneria stabilito dal Decreto del Presidente della Repubblica del 20.5.1989 ha istituito un corso di laurea in *Ingegneria meccanica* articolato in sette indirizzi riconosciuti in sede nazionale:

- *Automazione industriale e robotica*;
- *Biomedica*;
- *Costruzioni*;
- *Energia*
- *Materiali* (non attivato nel Politecnico di Torino);
- *Produzione*;
- *Veicoli terrestri*;

consentendo però inoltre alle singole Facoltà di definire anche altri piani di studio (*curriculum*), con egual numero di esami, denominati *orientamenti*, consentendo così di meglio soddisfare particolari esigenze culturali e di preparazione professionale degli allievi delle singole sedi universitarie, o meglio sfruttare le competenze tecniche e scientifiche acquisite dal corpo docente di ogni sede.

Il nostro Consiglio di Corso di Laurea ha deciso di organizzare gli studi in modo da portare al conseguimento del diploma di laurea sia attraverso piani di studio corrispondenti ad indirizzi riconosciuti in sede nazionale, sia mediante orientamenti definiti dal nostro Consiglio di Corso di Laurea, che consentono di conservare nel nuovo ordinamento piani di studio di provata utilità e riconosciuto interesse, o prevedere fin da adesso l'istituzione di piani di studio mirati a nuove e particolari esigenze professionali.

Per obbligo generale vigente sul piano nazionale, ovvero per meditata scelta del nostro Consiglio di Corso di Laurea, ratificata dal Consiglio di Facoltà del nostro Politecnico, sono stati stabiliti come obbligatori 24 insegnamenti.

Il numero di esami (annualità) prescritto (29) viene raggiunto con l'inserimento, al quarto e quinto anno di corso, di 5 materie di indirizzo, delle quali 3 prestabilite per ciascun indirizzo, e 2 da scegliersi in un gruppo di materie proposte, seguendo i criteri specifici che saranno indicati con i *Manifesti degli studi* pubblicati per ogni anno accademico.

Analogamente, per il conseguimento del diploma con *curriculum* corrispondente ad un orientamento locale, sono prestabilite 3 materie per ogni orientamento, mentre le rimanenti 2 materie dovranno essere scelte, seguendo le indicazioni dei *Manifesti degli studi*, da appositi elenchi; per due degli orientamenti sono invece prestabiliti quattro insegnamenti, mentre la ventinovesima materia potrà essere scelta in un elenco di materie opzionali.

I titoli dei 24 insegnamenti comuni e la collocazione dei diversi insegnamenti nei vari anni di corso sono indicati nelle due tavole che seguono. Commentandole, si osserva innanzitutto che il classico gruppo di discipline fisico-matematiche (*Analisi Matematica I e 2*, *Geometria e Meccanica razionale*), destinato a fornire un base culturale propedeutica, è stato mantenuto, sia pure con opportuna revisione dei programmi specifici, mantenendo anche la collocazione tradizionale nei primi due anni di corso; nel primo anno di corso sono collocate la *Chimica* ed una prima specifica disciplina dell'ingegneria meccanica, *Disegno tecnico industriale*, che fornisce le prime conoscenze per l'interpretazione e l'esecuzione di disegni industriali.

Nel primo periodo del secondo anno trova collocazione la nuova ma indispensabile materia *Fondamenti di informatica*, destinata a fornire agli allievi le conoscenze in tale

campo oggi necessarie ad ogni tipo di ingegnere, mentre nel secondo periodo, nel corso integrato di *Elettrotecnica + Macchine elettriche*, vengono impartite le nozioni fondamentali in tali settori disciplinari, che eventualmente potranno essere ampliate ed approfondite nell'ambito dei corsi di indirizzo od orientamento. Sempre in tale periodo è collocato l'insegnamento ridotto di *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*, che, insieme al successivo corso ridotto di *Tecnologia dei materiali metallici*, fornisce le conoscenze indispensabili nel settore dei materiali.

Il terzo anno prevede invece quattro materie base classiche dell'ingegneria meccanica: *Scienza delle costruzioni*, *Fisica tecnica*, *Meccanica applicata alle macchine* e *Meccanica dei fluidi* (nuova denominazione, conseguenza di un attento e più preciso e puntuale adeguamento del programma del corso alle specifiche esigenze del corso di laurea in Ingegneria meccanica, della tradizionale *Idraulica*) ed alcuni corsi di nuova istituzione: il corso integrato di *Controlli automatici + Elettronica applicata*, destinato a fornire le nozioni indispensabili nei settori dell'elettronica e dei sistemi di controllo, ed il corso integrato di *Disegno di macchine + Tecnologia meccanica*, nato da una revisione ed integrazione degli insegnamenti di *Disegno meccanico* e *Tecnologia meccanica* tradizionalmente impartiti.

Nel quarto e quinto anno, accanto agli insegnamenti di indirizzo o di orientamento, sono previste le materie applicative di interesse comune: *Macchine 1 e 2* (ovvero una coppia di insegnamenti della stessa area culturale), *Tecnologia meccanica*, *Costruzione di macchine* e *Principi e metodologie della progettazione meccanica*, *Impianti meccanici*, nonché la materia a carattere economico-organizzativo, obbligatoria sul piano nazionale, nel nostro corso di laurea denominata *Economia ed organizzazione aziendale*, ed opportunamente collocata a conclusione del ciclo formativo dell'allievo ingegnere.

Quadro riassuntivo dei corsi comuni ai diversi indirizzi e orientamenti

1:1	(1. anno, 1. periodo didattico) P0231 : Analisi matematica 1 P0620 : Chimica
<hr/>	
1:2	P2300 : Geometria P1901 : Fisica 1 P1430 : Disegno tecnico industriale
<hr/>	
2:1	P0232 : Analisi matematica 2 P1902 : Fisica 2 P2170 : Fondamenti di informatica
<hr/>	
2:2	P3370 : Meccanica razionale P1795 : Elettrotecnica + Macchine elettriche (integrato) P0845 : Controlli automatici + Elettronica applicata (integrato) <i>[Per l'anno 1995/96 soltanto si tiene a 3:1]</i>
<hr/>	
3:1	P4600 : Scienza delle costruzioni P3230 : Meccanica dei fluidi P0845 : Controlli automatici + Elettronica applicata (integrato)
<hr/>	
3:2	P3210 : Meccanica applicata alle macchine P2060 : Fisica tecnica P1405 : Disegno di macchine + Tecnologia meccanica (integrato) <i>[A partire dall'anno 1996/97 si terrà a 3:1]</i> P5584 : Tecnologia dei materiali metallici (ridotto) <i>[Sostituisce, per l'anno 1995/96, il corso integrato "P5575, Tecnologia dei materiali e chimica applicata + Tecnologia dei materiali metallici"]</i>
<hr/>	
4:1	P5640 : Tecnologia meccanica P3111 : Macchine 1
<hr/>	
4:2	P0940 : Costruzione di macchine P3112 : Macchine 2
<hr/>	
5:1	P4020 : Principi e metodologie della progettazione meccanica P2730 : Impianti meccanici
<hr/>	
5:2	P1530 : Economia ed organizzazione aziendale

Lo studente potrà scegliere, in alternativa, i due corsi di *P3111 : Macchine 1* e *P3112 : Macchine 2* oppure, rispettivamente, il corso di *P3110 : Macchine* ed uno dei seguenti corsi: *P3840 : Motori termici per trazione*, *P3850 : Oleodinamica e pneumatica* o *P5130 : Sperimentazione sulle macchine*.

L'eventuale scelta di questi ultimi corsi va fatta fra quelli che già compaiono nell'indirizzo o orientamento seguito, e la collocazione dev'essere nell'anno e semestre indicato dalla tavola precedente. Ove uno o più degli insegnamenti anzi detti siano già obbligatori per l'indirizzo o orientamento, la scelta del corso da abbinare a *P3110 : Macchine* andrà fatta fra gli altri di questi tre corsi che siano elencati tra gli opzionali nell'indirizzo o orientamento seguito.

Corsi comuni (ultimi due anni, soluzione alternativa)

4:1	P5640 : Tecnologia meccanica P3110 : Macchine
4:2	P0940 : Costruzione di macchine P3850 : <i>Oleodinamica e pneumatica</i> (*) P5130 : <i>Sperimentazione sulle macchine</i> (*)
5:1	P4020 : Principi e metodologie della progettazione meccanica P2730 : Impianti meccanici P3840 : <i>Motori termici per trazione</i> (*)
5:2	P1530 : Economia ed organizzazione aziendale

(*) Un insegnamento a scelta tra i tre indicati, che rientri tra quelli opzionali per l'indirizzo od orientamento seguito.

Il piano di studio sarà completato da un gruppo di corsi appartenenti ad un medesimo indirizzo o orientamento collocati nel 4. e 5. anno di corso, e corrispondenti ad almeno 5 annualità. I gruppi di corsi costituenti i diversi indirizzi o orientamenti sono riportati nei successivi prospetti, nei quali sono indicati le collocazioni negli anni e nei periodi didattici dei singoli corsi, ed elencando per primi i corsi obbligatori per ciascun indirizzo od orientamento.

Indirizzi ed orientamenti

Visto l'elevato numero di indirizzi (6) ed orientamenti (12), e di conseguenza di insegnamenti riportati, si ritiene troppo oneroso un commento specifico ad ogni singolo *curriculum*. D'altra parte, le denominazioni dei singoli indirizzi ed orientamenti e quelle degli insegnamenti, in particolare di quelli obbligatori, danno già una buona indicazione sui contenuti culturali ed orientamenti.

Ad evitare inutili apprensioni tra gli studenti, riteniamo utile precisare che il problema di questa scelta non deve essere sopravvalutato. Ovviamente la scelta di un indirizzo o di un orientamento più affine alle aspirazioni ed agli interessi dello studente può rendere più gradito il periodo finale degli studi, e in caso di corrispondenza tra indirizzo seguito e settore di prima attività, l'ingresso nella vita professionale sarà certamente più facile: ma l'ampia ed organica preparazione di base e metodologica acquisita con gli esami comuni dovrebbe consentire a tutti gli ingegneri meccanici di operare proficuamente in tutti i settori di attività, seppure con qualche maggior difficoltà iniziale. Si precisa inoltre che, nei primi anni di attuazione dello Statuto del Politecnico entrato in vigore nel 1989, non tutti gli insegnamenti opzionali e gli orientamenti saranno attivati: precise e tempestive informazioni saranno date con i *Manifesti degli studi* in ciascun anno accademico. Si rammenta che il cambiamento di indirizzo richiede una pratica specifica, illustrata nella *Guida dello studente*.

Indirizzo Automazione industriale e robotica

4:1 P0350 : Automazione a fluido

4:2 P3410 : Meccatronica

5:1 P3280 : Meccanica dei robot

Insegnamenti opzionali:

4:1 P1710 : Elettronica applicata
P3540 : Metrologia generale meccanica
P3710 : Misure termiche e regolazioni

4:2 P0290 : Applicazioni industriali elettriche

5:2 P0390 : Azionamenti elettrici per l'automazione
P3850 : Oleodinamica e pneumatica
P5130 : Sperimentazione sulle macchine

Indirizzo **Biomedica**

- 4:1 P0350 : Automazione a fluido
-
- 4:2 P0450 : Biomeccanica
-
- 5:2 P1040 : Costruzioni biomeccaniche
-

Insegnamenti opzionali:

- 4:1 P3265 : Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato)
P3540 : Metrologia generale meccanica
-
- 4:2 P0510 : Calcolo numerico
P2080 : Fluidodinamica
P3410 : Meccatronica
-
- 5:1 P4160 : Progettazione dei sistemi meccanici in campo dinamico
P5450 : Tecnica della sicurezza elettrica
-
- 5:2 P3850 : Oleodinamica e pneumatica
P5130 : Sperimentazione sulle macchine
-

Indirizzo **Costruzioni**

- 4:1 P3265 : Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato)
-
- 4:2 P3410 : Meccatronica
-
- 5:1 P4160 : Progettazione dei sistemi meccanici in campo dinamico
-
- 5:2 P5470 : Tecnica delle costruzioni meccaniche
-

Insegnamenti opzionali:

- 4:1 P0920 : Costruzione di autoveicoli
P3400 : Meccanica superiore per ingegneri
P3540 : Metrologia generale meccanica
-
- 4:2 P0510 : Calcolo numerico
-
- 5:1 P3840 : Motori termici per trazione
-
- 5:2 P0980 : Costruzione di materiale ferroviario
P1040 : Costruzioni biomeccaniche
P3850 : Oleodinamica e pneumatica
P4270 : Progetto delle carrozzerie
P5110 : Sperimentazione ed affidabilità dell'autoveicolo
P5130 : Sperimentazione sulle macchine
-

Indirizzo Energia

-
- 4:2 P1810 : Energetica
-
- 5:1 P3360 : Meccanica delle vibrazioni
-
- 5:2 P3850 : Oleodinamica e pneumatica
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P1070 : Costruzioni idrauliche
P3710 : Misure termiche e regolazioni
P6030 : Trasmissione del calore
-
- 4:2 P0290 : Applicazioni industriali elettriche
P0510 : Calcolo numerico
P2080 : Fluidodinamica
-
- 5:1 P1165 : Criogenia + Tecnica del freddo (integrato)
P3840 : Motori termici per trazione
P5410 : Tecnica del controllo ambientale
-
- 5:2 P0030 : Acustica applicata
P2820 : Impianti termotecnici
P5130 : Sperimentazione sulle macchine
P6000 : Termotecnica
-

Indirizzo Produzione

-
- 4:1 P0350 : Automazione a fluido
-
- 4:2 P3950 : Plasticità e lavorazione per deformazione plastica
-
- 5:2 P5720 : Tecnologie speciali
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P3540 : Metrologia generale meccanica
-
- 4:2 P3500 : Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici
-
- 5:1 P2460 : Gestione industriale della qualità
P3840 : Motori termici per trazione
P4090 : Produzione assistita da calcolatore
-
- 5:2 P3850 : Oleodinamica e pneumatica
P4350 : Programmazione e controllo della produzione meccanica
P5130 : Sperimentazione sulle macchine
P5390 : Studi di fabbricazione
P5575 : Tecnologia dei materiali e chimica applicata +
Tecnologia dei materiali metallici
-

Indirizzo **Veicoli terrestri**

-
- 4:1 P0920 : Costruzione di autoveicoli
-
- 4:2 P3290 : Meccanica del veicolo
-
- 5:1 P3840 : Motori termici per trazione
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P3265 : Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato)
 P3400 : Meccanica superiore per ingegneri
 P3540 : Metrologia generale meccanica
-
- 5:1 P3360 : Meccanica delle vibrazioni
 P4160 : Progettazione dei sistemi meccanici in campo dinamico
 P4630 : Scienza e tecnologia dei materiali ceramici
-
- 5:2 P0980 : Costruzione di materiale ferroviario
 P3850 : Oleodinamica e pneumatica
 P4270 : Progetto delle carrozzerie
 P5110 : Sperimentazione ed affidabilità dell'autoveicolo
 P5130 : Sperimentazione sulle macchine
 P5720 : Tecnologie speciali
-

Orientamento **Azionamenti industriali**

-
- 4:1 P0350 : Automazione a fluido
-
- 4:2 P0290 : Applicazioni industriali elettriche
-
- 5:2 P3850 : Oleodinamica e pneumatica
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P3540 : Metrologia generale meccanica
-
- 4:2 P3410 : Meccatronica
-
- 5:1 P3280 : Meccanica dei robot
-
- 5:2 P0390 : Azionamenti elettrici per l'automazione
 P5110 : Sperimentazione ed affidabilità dell'autoveicolo
 P5130 : Sperimentazione sulle macchine
-

Orientamento ferroviario

-
- 4:1 P0350 : Automazione a fluido
-
- 4:2 P0290 : Applicazioni industriali elettriche
-
- 5:2 P0980 : Costruzione di materiale ferroviario
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P1710 : Elettronica applicata
 P3265 : Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato)
 P3400 : Meccanica superiore per ingegneri
 P3540 : Metrologia generale meccanica
 P5490 : Tecnica ed economia dei trasporti
-
- 5:1 P3360 : Meccanica delle vibrazioni
 P3840 : Motori termici per trazione
 P4160 : Progettazione dei sistemi meccanici in campo dinamico
-
- 5:2 P0030 : Acustica applicata
 P3850 : Oleodinamica e pneumatica
 P5110 : Sperimentazione ed affidabilità dell'autoveicolo
 P5470 : Tecnica delle costruzioni meccaniche
-

Orientamento Impianti idroelettrici

-
- 4:1 P1070 : Costruzioni idrauliche
-
- 5:1 P3360 : Meccanica delle vibrazioni
-
- 5:2 P3850 : Oleodinamica e pneumatica
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P3400 : Meccanica superiore per ingegneri
-
- 4:2 P2080 : Fluidodinamica
-
- 5:2 P4150 : Progettazione degli impianti industriali
 P4980 : Sistemi elettrici per l'energia
 P5130 : Sperimentazione sulle macchine
-

Orientamento **Impianti industriali**

-
- 4:2 P 3410 : Meccatronica
-
- 5:1 P 3100 : Logistica industriale
-
- 5:2 P 4150 : Progettazione degli impianti industriali
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P 0350 : Automazione a fluido
P 3540 : Metrologia generale meccanica
P 4602 : Scienza delle costruzioni 2
-
- 4:2 P 0290 : Applicazioni industriali elettriche
P 2080 : Fluidodinamica
P 2560 : Illuminotecnica
-
- 5:1 P 3840 : Motori termici per trazione
-
- 5:2 P 2820 : Impianti termotecnici
P 3850 : Oleodinamica e pneumatica
P 5110 : Sperimentazione ed affidabilità dell'autoveicolo
P 5440 : Tecnica della sicurezza ambientale
P 5470 : Tecnica delle costruzioni meccaniche
P 5700 : Tecnologie industriali (tessili)
P 5720 : Tecnologie speciali
-

Orientamento **metallurgico**

-
- 4:1 P 3265 : Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato)
P 4780 : Siderurgia
-
- 5:1 P 3360 : Meccanica delle vibrazioni
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P 0350 : Automazione a fluido
-
- 4:2 P 3430 : Metallurgia fisica
P 3950 : Plasticità e lavorazione per deformazione plastica
-
- 5:1 P 2740 : Impianti metallurgici
P 4630 : Scienza e tecnologia dei materiali ceramici
-
- 5:2 P 1700 : Elettrometallurgia
P 3850 : Oleodinamica e pneumatica
P 5575 : Tecnologia dei materiali e chimica applicata +
Tecnologia dei materiali metallici
P 5710 : Tecnologie metallurgiche
-

Orientamento **Metrologia**

4:1 P 3540 : Metrologia generale meccanica
P 3710 : Misure termiche e regolazioni

4:2 P 3410 : Meccatronica

Insegnamenti opzionali:

4:1 P 3400 : Meccanica superiore per ingegneri

5:1 P 3360 : Meccanica delle vibrazioni

5:2 P 3500 : Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici
P 3850 : Oleodinamica e pneumatica
P 5130 : Sperimentazione sulle macchine

Orientamento **Motori a combustione**

5:1 P 3360 : Meccanica delle vibrazioni
P 3840 : Motori termici per trazione

5:2 P 5130 : Sperimentazione sulle macchine

Insegnamenti opzionali:

4:1 P 1710 : Elettronica applicata
P 3400 : Meccanica superiore per ingegneri

4:2 P 0510 : Calcolo numerico
P 2080 : Fluidodinamica

5:1 P 4160 : Progettazione dei sistemi meccanici in campo dinamico

5:2 P 3850 : Oleodinamica e pneumatica

Orientamento **Strutture**

-
- 4:2 P 5840 : Teoria delle strutture
-
- 5:1 P 3360 : Meccanica delle vibrazioni
-
- 5:2 P 5470 : Tecnica delle costruzioni meccaniche
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P 1080 : Costruzioni in acciaio
 P 3265 : Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato)
 P 3400 : Meccanica superiore per ingegneri
 P 3540 : Metrologia generale meccanica
-
- 4:2 P 0510 : Calcolo numerico
 P 4602 : Scienza delle costruzioni 2
-
- 5:2 P 3850 : Oleodinamica e pneumatica
 P 5130 : Sperimentazione sulle macchine
-

Orientamento **termotecnico**

-
- 4:1 P 0350 : Automazione a fluido
-
- 5:2 P 2820 : Impianti termotecnici
 P 6000 : Termotecnica
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P 3710 : Misure termiche e regolazioni
 P 6030 : Trasmissione del calore
-
- 4:2 P 0030 : Acustica applicata
 P 0510 : Calcolo numerico
 P 2080 : Fluidodinamica
 P 2560 : Illuminotecnica
-
- 5:1 P 1165 : Criogenia + Tecnica del freddo (integrato)
 P 5410 : Tecnica del controllo ambientale
-
- 5:2 P 3850 : Oleodinamica e pneumatica
 P 4980 : Sistemi elettrici per l'energia
 P 5130 : Sperimentazione sulle macchine
-

Orientamento tessile

-
- 5:1 P 3280 : Meccanica dei robot
-
- 5:2 P 4150 : Progettazione degli impianti industriali
P 5700 : Tecnologie industriali (tessili)
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P 1710 : Elettronica applicata
-
- 5:2 P 0030 : Acustica applicata
P 3850 : Oleodinamica e pneumatica
P 5130 : Sperimentazione sulle macchine
-

Orientamento **Trasporti**

-
- 4:1 P 5490 : Tecnica ed economia dei trasporti
-
- 5:1 P 3360 : Meccanica delle vibrazioni
P 4180 : Progettazione di sistemi di trasporto
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:1 P 0920 : Costruzione di autoveicoli
P 3400 : Meccanica superiore per ingegneri
-
- 4:2 P 0290 : Applicazioni industriali elettriche
P 3290 : Meccanica del veicolo
-
- 5:1 P 1870 : Esercizio dei sistemi di trasporto
P 3840 : Motori termici per trazione
P 4160 : Progettazione dei sistemi meccanici in campo dinamico
-
- 5:2 P 0980 : Costruzione di materiale ferroviario
P 3850 : Oleodinamica e pneumatica
P 4270 : Progetto delle carrozzerie
P 5110 : Sperimentazione ed affidabilità dell'autoveicolo
P 5130 : Sperimentazione sulle macchine
P 5720 : Tecnologie speciali
P 5880 : Teoria e tecnica della circolazione
-

Orientamento **Turbomacchine**

-
- 4:1 P 3360 : Meccanica delle vibrazioni
-
- 5:2 P 2120 : Fluidodinamica delle turbomacchine
P 5130 : Sperimentazione sulle macchine
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 4:2 P 0510 : Calcolo numerico
P 2080 : Fluidodinamica
P 3410 : Meccatronica
-
- 5:2 P 3850 : Oleodinamica e pneumatica
-

Orientamento **Trasporti (esercizio)**

-
- 4:1 P 5490 : Tecnica ed economia dei trasporti
-
- 4:2 P 3290 : Meccanica del veicolo
-
- 5:1 P 4180 : Progettazione di sistemi di trasporto
-

Insegnamenti opzionali:

-
- 5:1 P 1870 : Esercizio dei sistemi di trasporto
P 3840 : Motori termici per trazione
-
- 5:2 P 3850 : Oleodinamica e pneumatica
P 3910 : Pianificazione dei trasporti
P 5130 : Sperimentazione sulle macchine
P 5880 : Teoria e tecnica della circolazione
-

Programmi degli insegnamenti

(insegnamenti comuni ai diversi indirizzi e orientamenti)

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. 87). Al termine del volume (p. 177) le tavole alfabetiche generali, per nomi dei docenti e per titoli degli insegnamenti.

P0231 **Analisi matematica 1**

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

Docenti: Claudio Canuto, Dina Giublesi

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 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 alcune 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'Hôpital. 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. I.*, Liguori, Napoli, 1994

Testi ausiliari:

G. Geymonat, *Lezioni di Analisi matematica I*, Levrotto e Bella, Torino, 1981.

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

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

M. Pavone, *Temi di esame svolti di Analisi matematica I*, Aracne, Roma, 1993.

M. Pavone, *Integrali impropri e funzioni integrali*, Aracne, Roma 1992.

ESAME

L'esame si svolge con una prova scritta della durata di due ore. Alla prova scritta si possono consultare i testi di lezione ed esercitazione e gli appunti. 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.

P0620 Chimica

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

Docenti: Antonio Iannibello, Mario Vallino (collab.: Francesco Geobaldo, 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 omopolare 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. Concetto 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.

P 2300 Geometria

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

Docenti: Carla Massaza, Paolo Valabrega

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.* [5 ore]

Vettori applicati e liberi, operazioni, componenti.

2. *Numeri complessi ed equazioni algebriche.* [5 ore]

Definizione di numero complesso, operazioni, rappresentazione. Principio di identità dei polinomi. Teorema fondamentale dell'algebra.

3. *Spazi vettoriali.* [10 ore]

Proprietà elementari, sottospazi, dipendenza lineare, basi. Spazi di matrici, calcolo matriciale.

4. *Sistemi lineari e determinanti.* [9 ore]

Compatibilità e metodi di risoluzione di un sistema. Sistemi ad incognite vettoriali e matrice inversa. Definizione e proprietà dei determinanti.

5. *Applicazioni lineari.* [14 ore]

Definizione e proprietà. Applicazioni lineari e matrici. Cambiamenti di base e matrici simili. Autovalori e autovettori: polinomio caratteristico, diagonalizzazione di una matrice, cenni sulla forma canonica di Jordan. Cenni su equazioni e sistemi differenziali lineari di ordine n .

6. *Spazi vettoriali con prodotto scalare.* [2 ore]

Matrici ortogonali. Matrici simmetriche. Forme quadratiche.

7. *Geometria analitica del piano.* [9 ore]

Coordinate cartesiane e polari. La retta: rappresentazioni 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.

8. *Geometria analitica dello spazio.* [14 ore]

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.

9. *Geometria differenziale delle curve.* [6 ore]

Curve regolari e biregolari. Triedro fondamentale. Ascissa curvilinea. Curvatura e torsione. Cerchio osculatore. Formule di Frenet.

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 & Bella, Torino, 1994.

Testi ausiliari:

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

P1901 Fisica 1

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

Docente: Riccardo D'Auria (collab.: Vittorio Penna)

PROGRAMMA**1. Misure.** [2 ore]

Grandezze fisiche. Misurazioni. Grandezze fondamentali e derivate. Equazioni dimensionali. Sistemi di misura e unità. Errori di misura. Propagazione degli errori. Cenni di teoria dell'errore e metodo dei minimi quadrati. (Di regola questi argomenti vengono svolti in parte nelle ore di esercitazione).

2. Richiami di calcolo vettoriale. [1 ora]

Vettori e scalari. Componenti. Vettori unitari. Cenni di calcolo vettoriale.

3. Cinematica. [8 ore]

Moto rettilineo: posizione, velocità e accelerazione. Caduta libera. Moti piani: posizione, velocità e accelerazione. Moto circolare uniforme. Moto dei proiettili. Moti relativi: velocità e accelerazione relative. Trasformazioni di Galileo. Sistemi in rotazione.

4. Dinamica del punto materiale. [8 ore]

Sistemi inerziali. Conservazione della quantità di moto per un sistema isolato. Forza e massa. Leggi di Newton. Leggi di forza. Applicazioni. Forze di attrito (radente e viscoso). Sistemi a massa variabile. Momento angolare e sua conservazione.

5. Conservazione dell'energia. [4 ore]

Lavoro ed energia potenziale. Forze conservative e non conservative. Teorema di conservazione dell'energia meccanica. Curve di energia potenziale. Moto sotto l'azione di forze centrali.

6. Sistemi di punti materiali. [4 ore]

Centro di massa. Quantità di moto di una particella e di un sistema di particelle.

Momento angolare di un sistema di particelle. Massa ridotta. Quantità meccaniche nel sistema del centro di massa. Soluzione completa del moto di due corpi soggetti all'interazione gravitazionale.

7. *Urti.* [2 ore]

Impulso e quantità di moto. Urti elastici e anelastici in una dimensione. Cenni agli urti in due dimensioni. Sistema di riferimento del centro di massa.

8. *Dinamica di un corpo rigido.* [6 ore]

Moto rotatorio. Variabili rotazionali. Energia cinetica di rotazione. Momento d'inerzia. Momento di una forza. Dinamica rotazionale del corpo rigido. Rotolamento. Momento angolare. Momento angolare di un sistema di particelle e di un corpo rigido in rotazione attorno a un asse fisso. Assi principali d'inerzia. Conservazione del momento angolare ed esempi. Giroscopi. Equilibrio dei corpi rigidi.

9. *Oscillazioni.* [6 ore]

Oscillatore armonico semplice. Considerazioni energetiche. Moto armonico semplice e moto circolare uniforme. Moto armonico smorzato. Oscillazioni forzate e risonanza. Composizione di moti armonici.

10. *Fluidi.* [4 ore]

Densità e pressione. Principi di Pascal e Archimede. Linee di flusso ed equazione di continuità. Equazione di Bernoulli ed applicazioni.

11. *Gravitazione.* [4 ore]

Legge della gravitazione universale. Energia potenziale gravitazionale. Campo e potenziale gravitazionale. Leggi di Keplero. Principio di equivalenza e applicazione.

12. *Relatività ristretta.* [6 ore]

Principio della costanza della velocità della luce. Trasformazione di Lorentz. Dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze. Addizione relativistica delle velocità. Quantità di moto relativistica. Equivalenza massa-energia. Applicazioni.

13. *Carica elettrica e campo elettrico statico.* [6 ore]

Legge di Coulomb. Conservazione della carica. Campo elettrico. Linee di forza. Campo elettrico di: una carica puntiforme; un dipolo elettrico; una distribuzione lineare di carica; un disco carico. Carica puntiforme e dipolo in un campo elettrico.

14. *Legge di Gauss.* [4 ore]

Flusso del campo elettrico. Legge di Gauss. Conduttore carico isolato. Applicazioni della legge di Gauss.

15. *Potenziale elettrico.* [4 ore]

Energia potenziale elettrica. Potenziale elettrico. Campo elettrico e potenziale. Potenziale di: una carica puntiforme; un insieme di cariche puntiformi; un dipolo elettrico; una distribuzione continua di cariche. Superfici equipotenziali.

16. *Condensatori.* [4 ore]

Condensatori. Capacità elettrica. Calcolo della capacità. Condensatori in serie e in parallelo. Energia immagazzinata in un campo elettrico.

17. *Elementi di ottica geometrica.* [4 ore]

Riflessione e rifrazione della luce. Specchi piani e sferici. Superfici rifrangenti sferiche. Lenti sottili.

LABORATORIO

1. Misurazione di spostamenti, velocità e accelerazione di gravità per un corpo in caduta libera.
2. Misurazione del periodo di oscillazione del pendolo semplice in funzione della lunghezza del filo e dell'ampiezza di oscillazione.
3. Misurazione dell'indice di rifrazione del vetro con il metodo del prisma in condizione di deviazione minima.

BIBLIOGRAFIA

Alonso, Finn, *Elementi di fisica per l'università. Vol. 1* (e vol. 2 per la parte di elettrostatica e ottica), Masson - Addison-Wesley.

ESAME

L'esame consta delle seguenti tre prove:

- a) Una prova preliminare di accesso consistente in domande, *tests* ed esercizi di carattere elementare volta ad accertare se lo studente ha una preparazione di base minimale per sostenere l'esame vero e proprio.
- b) Una prova scritta che prevede di regola tre problemi dello stesso grado di difficoltà di quelli svolti durante le esercitazioni in classe, più alcune domande su argomenti di teoria.
- c) Una prova orale.

Per quanto riguarda gli scritti lo studente ha la facoltà di ritirare il compito una volta che sia stata eseguita la correzione alla lavagna. Superata la prova scritta l'esame orale può essere sostenuto in qualsiasi appello dell'anno accademico.

P1430 Disegno tecnico industriale

Anno: periodo 1:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 52+26+26 (ore, nell'intero periodo)
 Docente: Giovanni Podda

Il corso si propone di fornire agli allievi ingegneri meccanici e nucleari nozioni e strumenti

- per rappresentare graficamente gli organi di macchine, secondo la normativa tecnica;
- per interpretare i disegni tecnici, riconoscendo la geometria e la funzione dei vari componenti;
- per dimensionare con quote e tolleranze gli elementi rappresentati ai fini costruttivi e funzionali;
- per conoscere ed applicare curve e superfici per interpolazione ed approssimazione;
- per gestire un *software* di disegno automatico bidimensionale e tridimensionale.

REQUISITI. Non ci sono prerequisiti per il corso. Una conoscenza di informatica di base sarebbe comunque auspicabile per la parte assistita.

PROGRAMMA

Prima parte: le basi del disegno tecnico industriale. [8 ore]

1. Introduzione al disegno. [2 ore]

Il disegno come linguaggio grafico per la comunicazione di informazioni tecniche. La collocazione del disegno nel ciclo di vita del prodotto. Il disegno assistito dal calcola-

tore. L'unificazione dei disegni ed il formato dei fogli.

2. *Le proiezioni ortogonali.* [4 ore]

Le proiezioni di punti, segmenti e figure. Le proiezioni di solidi. Le sezioni. Le norme di rappresentazione.

3. *Le proiezioni assonometriche.* [2 ore]

Il teorema di Pohlke. Le assonometrie ortogonali ed oblique.

Seconda parte: il disegno meccanico. [24 ore]

4. *Le lavorazioni meccaniche.* [4 ore]

La classificazione delle lavorazioni meccaniche. Le lavorazioni per asportazione di truciolo e per deformazione plastica.

5. *La quotatura.* [4 ore]

La quotatura funzionale e la quotatura tecnologica. La disposizione delle quote. I sistemi di quotatura.

6. *La rappresentazione degli errori.* [8 ore]

Le tolleranze dimensionali. Il sistema unificato ISO di tolleranze. I collegamenti foro-base ed albero-base. La misura della rugosità. Le tolleranze geometriche. Il principio del massimo materiale.

7. *I collegamenti filettati.* [4 ore]

Gli elementi filettati: definizioni. I profili delle filettature ed i loro usi. I dispositivi antisvitamento.

8. *I collegamenti meccanici.* [4 ore]

Le chiavette e le linguette. I profili scanalati. Le spine e gli anelli elastici. Le chiodature e le saldature.

Terza parte: elementi di grafica assistita. [14 ore]

9. *Le trasformazioni prospettiche.* [6 ore]

Le trasformazioni nel piano e nello spazio. Gli algoritmi per la prospettiva centrale e parallela.

10. *L'interpolazione e l'approssimazione.* [6 ore]

Le curve parametriche cubiche e di Bezier. Le superfici parametriche bicubiche e di Bezier.

11. *Le applicazioni grafiche per la comunicazione.* [2 ore]

I diagrammi, i nomogrammi e gli istogrammi. I fogli di calcolo ed il plottaggio dei dati.

Quarta parte: il disegno assistito. [6 ore]

12. *I software grafici bidimensionali e tridimensionali.*

Le primitive bidimensionali. L'editing. I blocchi ed i tratteggi. La quotatura. Le primitive tridimensionali. La modellazione solida.

ESERCITAZIONI. [26 ore, 2 squadre]

Le esercitazioni consistono nella rappresentazione, in assonometria ed in proiezione quotata, di elementi meccanici presentati singolarmente o estratti da complessivi. Esse verranno eseguite sotto forma di schizzi a mano libera e con controllo del tempo di esecuzione.

LABORATORIO. [26 ore, 4 squadre]

Alcune delle esercitazioni in aula verranno eseguite su un *software* grafico dedicato, con possibilità di calcolo e di rappresentazione tridimensionale di curve e superfici parametriche.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Parte 1 e 2: *Appunti di disegno tecnico industriale*, o equivalente.Parte 3: M. Orlando, G. Podda, *Lineamenti di disegno automatico. Parte II*, CLUT, Torino, 1994.Parte 4: A.J. Kalameja, *The AutoCAD tutor*, Delmar, Albany, 1989, o equivalente.

Testi ausiliari:

M.E. Mortenson, *Modelli geometrici*, McGraw-Hill, Milano, 1989.**ESAME**

L'esame consiste in una prova grafica (1 ora), una prova teorica (45'), una prova di disegno assistito (1 ora) ed una valutazione delle esercitazioni (tavole) svolte durante il corso. È previsto un esonero dalla prova grafica e dalla prova di disegno assistito mediante accertamenti eseguiti durante il corso.

P0232 Analisi matematica 2

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

Docente: Maria Mascarello

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

REQUISITI. Sono prepedeutici i corsi di *Analisi matematica 1* e *Geometria*.

PROGRAMMA

1. *Funzioni di più variabili.* [4 ore lezione, 3 ore esercitazioni]

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

2. *Calcolo differenziale per funzioni di più variabili.* [7 ore lez., 7 ore es.]

Funzioni scalari: derivate parziali. Derivate direzionali. Differenziale; piano tangente. Gradiente. Formula di Taylor. Matrice hessiana. Punti stazionari: loro classificazione. Funzioni vettoriali: derivate parziali. Derivate direzionali. Matrice jacobiana. Differenziale. Derivazione di una funzione composta: regola della catena.

3. *Calcolo differenziale su curve e superfici.* [5 ore lez., 4 ore es.]

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

4. *Integrali multipli.* [10 ore lez., 12 ore es.]

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

5. *Integrali su curve e superfici.* [8 ore lez., 6 ore es.]

Integrale curvilineo. Area di una superficie. Secondo teorema di Guldino. Superfici orientate. Integrale di flusso. Teorema della divergenza. Forma differenziale lineare. Integrale di linea di un campo. Teorema di Green. Teorema di Stokes. Forma differenziale esatta. Teorema fondamentale. Potenziale.

6. *Serie numeriche e serie di funzioni.* [10 ore lez., 4 ore es.]

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

7. *Serie di Fourier.* [6 ore lez., 2 ore es.]

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

8. *Serie di potenze.* [8 ore lez., 6 ore es.]

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

9. *Sistemi di equazioni differenziali.* [14 ore lez., 6 ore es.]

Sistemi di equazioni differenziali del primo ordine. Problema di Cauchy. Equazioni differenziali di ordine n . Sistemi differenziali del primo ordine lineari in forma normale. Sistema omogeneo. Sistema completo, metodo di Lagrange. Equazioni differenziali di ordine n lineari. Integrazione per serie di equazioni differenziali lineari del secondo ordine. Sistemi differenziali lineari a coefficienti costanti del primo ordine. Sistemi omogenei soluzioni e loro soluzioni tramite la matrice esponenziale. Sistemi lineari non omogenei di tipo particolare. Equazioni differenziali lineari di ordine n a coefficienti costanti.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

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

Eventuali testi ausiliari:

S. Salsa, A. Squellati, *Esercizi di Analisi matematica II*, Masson, Milano, 1994.

H.B. Dwight, *Tables of integrals and other mathematical data*, MacMillan.

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

ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed una orale, che devono 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 didattica 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 gli appunti del corso, il libro di testo e le tavole. Se la prova scritta non viene ritirata dallo studente dopo la presentazione delle soluzioni da parte del docente effettuata al termine della prova scritta, l'esito dell'esame verrà comunque registrato. 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.

P1902 **Fisica 2**

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

Docente: Enrica Mezzetti Minetti (collab.: G. Castagno)

[Vedere anche p. 35]

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

PROGRAMMA

Elettrostatica nel vuoto e nella materia

Isolanti e conduttori, costante dielettrica. [6 ore]

Corrente, resistenza, forza elettromotrice

Corrente elettrica, resistenza, densità di corrente, resistività. Conduttori ohmici, legge di Ohm. Interpretazione microscopica della legge di Ohm (cenni). Generatori ideali e reali di tensione. Generatore di van de Graaf. Bilancio energetico nei circuiti. Circuito RC. Misura di resistenze (laboratorio). [6 ore]

Campo magnetico

Forze magnetiche su cariche in moto e su correnti. Definizione del vettore **B**. Effetto Hall. Forze magnetiche sui circuiti, momento di dipolo magnetico. Moto di cariche in campo magnetico. Ciclotrone. [4 ore]

Legge di Ampère: campo magnetico di circuiti percorsi da corrente. Dipoli elettrici e magnetici: analogie, differenze. Forze fra conduttori. Definizione dell'*ampere*. [4 ore]

Legge di Faraday: FEM indotta da campi magnetici variabili nel tempo. Considerazioni energetiche. Calcolo del campo elettrico indotto da campi magnetici variabili. Beta-trone. Auto- e mutua induzione. Autoinduttanza di avvolgimenti toroidali e solenoidali. Circuito LR. Energia del campo magnetico. Circuiti LC ed RLC: analogie meccaniche, considerazioni energetiche, risonanza (laboratorio). Corrente di spostamento ed equazioni di Maxwell. [6 ore]

Proprietà magnetiche dei materiali

Magneti permanenti, correnti di magnetizzazione. Sostanze dia-, para-, ferro-magnetiche. Legge di Curie. Legge di Gauss per il magnetismo. Vettore **H**. Legge di Ampère in presenza di mezzi materiali. Risonanza magnetica nucleare. [4 ore]

Onde elettromagnetiche

Equazioni di Maxwell in forma integrale e differenziale. Equazione dell'onda elettromagnetica. Onda piana: relazioni fra i vettori **E**, **B**, **H**. Energia dell'onda e vettore di Poynting. Quantità di moto dell'onda, pressione di radiazione. Antenne a dipolo elettrico (trasmettenti e riceventi). Lo spettro elettromagnetico. Luce. [8 ore]

Onde elettromagnetiche luminose

Riflessione e rifrazione: relazioni di Fresnel. Dispersione della luce principio di Huygens. Superfici d'onda e raggi. [2 ore]

Interferenza: esperimento di Young; coerenza, tempo di coerenza. Pellicole sottili, rivestimenti antiriflettenti. Diffrazione: fenomeni di Fresnel e Fraunhofer. Potere separatore degli strumenti ottici (macchina fotografica, occhio umano, telescopio). Interferenza con più sorgenti. Reticoli di diffrazione. Diffrazione dei raggi X, legge di Bragg. [10 ore]

Polarizzazione della luce mediante riflessione, dicroismo, doppia rifrazione e diffusione. Misure in luce polarizzata (laboratorio). [4 ore]

Interazione radiazione elettromagnetica con la materia

Descrizione effetto fotoelettrico ed effetto Compton: onde e corpuscoli. Relazioni energia - frequenza ed impulso. Vettore d'onda. Quantizzazione livelli energetici. Emissione della luce spontanea e indotta: laser. [4 ore]

Temperatura e calore

Equilibrio termico, principio zero. Temperatura, termometro a gas rarefatto. Punti fissi, punto triplo. Quantità di calore, calori specifici, legge di Dulong e Petit. Equivalente meccanico della caloria. Primo principio. Conduzione del calore in regime stazionario e non. Misura della diffusività termica (laboratorio). [4 ore]

Teoria cinetica

Gas perfetto: definizioni macroscopica e microscopica. Calcolo della pressione. Interpretazione cinetica della temperatura. Equazione dell'adiabatica reversibile. Principio di equipartizione dell'energia, calori specifici di gas e solidi. [4 ore]

Secondo principio della termodinamica

Processi reversibili ed irreversibili. Ciclo di Carnot per il gas perfetto. Macchine termiche e frigorifere. Teorema di Carnot. Secondo principio. Scala termodinamica assoluta delle temperature. Entropia: definizione, calcolo. Entropia e secondo principio, aumento di entropia nei processi naturali. Principali trasformazioni irreversibili, espansione senza lavoro esterno. Elementi di meccanica statistica e interpretazione statistica dell'entropia. [6 ore]

Meccanica quantistica

Cenni di meccanica quantistica e calori specifici alle basse temperature. [4 ore]

LABORATORIO

1. Misura di resistenza mediante ponte di Wheastone 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, uso di polarizzatori, verifica della legge di Malus, misura dell'angolo di Brewster con sensore a fotodiiodo.
4. Misura della diffusività termica di un provino metallico.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

B. Minetti, A. Pasquarelli, *Calore e termodinamica*, Levrotto & Bella, Torino.

U. Amaldi, Bizzarri, *Fisica generale. Elettromagnetismo, relatività, ottica*, Zanichelli.

Testi ausiliari:

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

P. Mazzoldi, N. Nigro, C. Voci, *Fisica. Vol. 2*. EDISES, Napoli.

ESAME

L'esame consta di una prova scritta seguita da una prova orale, entrambe da effettuarsi

nella stessa sessione, non necessariamente nello stesso appello. Lo scritto ha la durata di 2 ore, e consiste in una serie di problemi e/o quesiti sugli argomenti trattati nel corso e sulle esperienze di laboratorio. Il massimo voto ottenibile dall'esame è condizionato dal voto dello scritto. Il peso massimo che la prova scritta può avere sulla valutazione finale è di 50/100.

Alla fine del primo semestre gli studenti possono sostenere una prova scritta comprendente problemi e/o quesiti. Questa prova scritta, se superata con almeno 15/30, dà diritto agli studenti a essere esonerati dallo scritto d'esame per l'intero AA.

P1902 **Fisica 2**

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

Docente: Laura Trossi (collab.: E. Tresso)

[Vedere anche p. 33]

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

REQUISITI. Conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Fisica 1*.

PROGRAMMA

Campo elettrostatico in un dielettrico. [6 ore]

Trattazione macroscopica dei dielettrici isotropi. Trattazione microscopica: polarizzabilità elettronica di un gas. Polarizzabilità dei solidi: suscettività dielettrica come tensore. Condizioni al contorno per i vettori campo elettrico e spostamento elettrico.

Correnti elettriche in regime stazionario. [2 ore]

Legge di Ohm. Effetto Joule. Forza elettromotrice. Interpretazione microscopica della conduzione nei metalli.

Campo magnetico statico. [8 ore]

La forza di Lorentz. Moto di cariche in campi magnetici. Ciclotrone, spettrometro di massa, effetto Hall, esperimento di Thomson. Forze magnetiche su correnti. Galvanometro. Campi magnetici generati da correnti stazionarie. Interazioni fra correnti. Legge della circuitazione di Ampère. Potenziale vettore.

Proprietà magnetiche dei materiali. [4 ore]

Analogia tra dipoli elettrici e magnetici. Magnetizzazione. Descrizione macroscopica sostanze dia-, para-, ferromagnetiche.

Fenomeni induttivi. [8 ore]

Legge di Faraday – Lenz – Henry. Betatrone. Principio di conservazione della carica. Equazione di Ampère – Maxwell. Autoinduzione. Energia campo magnetico (circuito RL). Oscillazioni libere (circuito LC), oscillazioni (circuito RLC) libere e forzate. Reattanza e impedenza ricavate con metodo simbolico. Mutua induzione; trasformatore.

Onde. [2 ore]

Descrizione del moto ondulatorio, propagazione dell'onda in una corda.

Onde elettromagnetiche. [10 ore]

Equazioni di Maxwell, onde elettromagnetiche. Energia, intensità quantità di moto dell'onda e.m. Teorema di Poynting. Velocità di gruppo. Effetto Doppler.

Spettro elettromagnetico. La luce. Interazione onda elettromagnetica con la materia. Spettro di corpo nero, ipotesi di Plank. Quantizzazione dell'energia elettromagnetica: l'effetto fotoelettrico. Aspetto corpuscolare della radiazione elettromagnetica: l'effetto Compton.

Propagazione onde elettromagnetiche nella materia: dispersione (indice di rifrazione e costante dielettrica).

Ottica ondulatoria. [8 ore]

Interferenza di onde prodotte da due sorgenti. Coerenza. Interferenza da n sorgenti coerenti, da lamine. Onde stazionarie. Diffrazione: fenomeni di Fraunhofer da una fenditura. Potere risolutore. Reticolo di diffrazione e calcolo del suo potere risolutore. Diffrazione da cristalli, di raggi X. Polarizzazione della luce. Sostanze dicroiche. Angolo di Brewster, attività ottica. Onda e.m. in mezzi anisotropi. Elissoide di Fresnel, lamina birifrangente.

Struttura della materia. [10 ore]

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

Principio di funzionamento del laser. [2 ore]

Termodinamica. [12 ore]

Definizione operativa di temperatura, termometro a gas. Definizione quantità di calore, calorimetro di Bunsen. Calori specifici. Trasformazioni termodinamiche., Equivalente meccanico delle caloria. Lavoro - calore. Primo principio. Gas perfetti: equazione di stato, equazione isoterma e adiabatica. Teoria cinetica dei gas. Secondo principio. Ciclo di Carnot. Teorema di Carnot. Scala termodinamica della temperatura. Teorema di Clausius. Entropia.

Termodinamica statistica.

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

LABORATORIO

1. misura di resistenza con ponte di Wheatstone e 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 rivelatore a fotodiodo);
4. misura della diffusività termica di un provino metallico.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

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

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

Testi ausiliari:

Halliday, Resnick, Krane, *Fisica II*, Ed. Ambrosiana, Milano.
Amaldi, Bizzarri, Pizzella, *Fisica generale*, Zanichelli.

ESAME

- a) L'esame consta di una prova orale, che si svolge dopo che il docente ha acquisito vari elementi di giudizio sullo studente, fra cui l'esito di una prova scritta e le relazioni di laboratorio.
- b) Lo scritto consta di norma di tre esercizi che ricoprono tutto l'arco della materia sviluppata nelle esercitazioni.
- c) L'esame (orale) può essere sostenuto in qualunque appello a partire da quello in cui si è svolto lo scritto stesso, purchè entro il gennaio dell'anno immediatamente successivo. Superato tale tempo senza aver sostenuto l'orale con esito favorevole lo scritto deve essere comunque ripetuto. Lo scritto nella prima metà di gennaio vale solo per quella sessione.
- d) La prova scritta rimane valida, nei limiti di tempo di cui al punto precedente, anche nel caso in cui la prova orale non venga superata.
- e) Lo studente che, avendo svolto lo scritto, intende sostenere l'orale deve prenotarsi apponendo il proprio nome sui fogli disponibili presso il Dipartimento di Fisica a partire da una settimana prima di ogni appello. Non occorre prenotarsi per lo scritto.
- f) Lo statino deve essere presentato all'atto di sostenere l'esame orale.

P2170 Fondamenti di informatica

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

Docente: Paolo Lepora

Il corso intende fornire agli allievi i fondamenti dell'informatica, sotto l'aspetto sia *hardware* sia *software*. Particolare importanza viene data ai principi della programmazione mediante l'uso di linguaggi evoluti quali il Quickbasic. Vengono inoltre fornite nozioni introduttive sulla struttura degli elaboratori e sulla rappresentazione dell'informazione al loro interno.

PROGRAMMA

Introduzione al corso.

Architetture dei sistemi di elaborazione e principi base di funzionamento. [6 ore]

Architettura dei sistemi di elaborazione: definizione di sistema di elaborazione, schema a blocchi, architettura Von Neumann, unità centrale di elaborazione (CPU, registri, ALU, PC, IR, SP, PSW), microprocessori, memoria centrale (organizzazione, indirizzamento).

Memoria centrale (numero *bit*/fili, tempi, costi, dimensioni, cicli di lettura/scrittura, RAM, ROM, ... PROM, EPROM), memoria di massa (caratteristiche generali), *bus*, unità di ingresso e uscita (interfacciamento dei dispositivi periferici, *memory mapped*, *I/O isolated*, *polling*, interruzione).

Algoritmi, diagrammi di flusso, concetti e metodologie per la programmazione strutturata: teoria ed esercizi. [8 ore]

Principi base di funzionamento: compilatore, assembler, interprete, *linker*, librerie di

sistema, programma eseguibile, istruzione macchina, esecuzione di un programma (*loader*), esecuzione di un'istruzione, *instruction set*, velocità di elaborazione.

Rappresentazione dell'informazione; operazioni aritmetiche elementari: teoria ed esercizi. [10 ore]

Rappresentazione posizionale dei numeri: sistemi di numerazione posizionale, cifre necessarie a rappresentare un numero, conversioni di base elementari, algoritmi per il cambiamento di base, rappresentazione dei numeri negativi, rappresentazione grafica (geometrica), rappresentazione dei numeri frazionari, sistema BCD (cenni), codifica dell'informazione (codici alfanumerici) (prima parte).

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione. Comandi principali del sistema operativo MS-DOS, varie fasi di scrittura di un programma (*editing*, compilazione, *link*, librerie, programma eseguibile), introduzione a Windows (prima parte).

Rappresentazione posizionale dei numeri (seconda parte). Operazioni aritmetiche elementari (somma, sottrazione, riporto, prestito): numeri privi di segno, numeri in modulo e segno, numeri in complemento a 2, operazioni tramite conteggio, numeri in BCD (cenni).

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione. Il sistema operativo MS-DOS, introduzione a Windows, scrittura di programmi, (*editor*, compilatori, *linker*, librerie, esempi di semplici programmi nel linguaggio di programmazione) (seconda parte).

Rappresentazione dei numeri reali, rappresentazioni in virgola mobile (normalizzazioni, polarizzazione, *hidden bit*), granularità e precisione, troncamento ed arrotondamento, cenni su *epsilon*-macchina (cenni su algoritmi per la sua determinazione), problematiche ed errori nelle operazioni in virgola mobile.

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione. Esercizi sulla rappresentazione posizionale dei numeri (vedi lezione settimana precedente).

Algebra booleana: teoria ed esercizi. [6 ore]

Switching algebra: livelli gerarchici di astrazione nel progetto degli elaboratori, algebra booleana, funzioni booleane, algebra degli insiemi definizione di *switching algebra*, mappe di Karnaugh, tabelle di verità, operazioni logiche elementari, teoremi fondamentali, altre operazioni logiche elementari, cenni di circuiti logici (es.: sommatore per valori rappresentati in complemento a due, *multiplexer*, *decoder*).

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione. Esercizi sulle operazioni aritmetiche elementari (vedi lezione settimana precedente).

Dispositivi periferici: teoria ed esercizi. [8 ore]

Organizzazione delle memorie in banchi (circuiti con i *decoder* e suddivisione dell'indirizzo in indirizzo *del* banco ed indirizzo *nel* banco).

Dispositivi periferici: dischi magnetici per la memoria di massa (tipologia, organizzazione, indirizzamento, tempi, costi, dimensioni, cicli di lettura/scrittura, dischi rigidi, flessibili, ottici, mobili, fissi, *winchester*); aspetti meccanici (velocità, accelerazione, impurità, filtraggio polveri); costi, dimensioni, piatti, superfici, tracce, settori, cilindri, densità di registrazione (radiale, tangenziale), tempi medi di accesso, posizionamento, latenza, *transfer rate*, controllori, interfaccia, errori (ridondanza), formattazione (scopi, *CRC*, *bad sectors*, *bad blocks*).

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione. Esercizi sulle rappresentazioni (incluso in virgola mobile) (vedi lezione settimana precedente).

Dispositivi periferici: nastri magnetici, dischi ottici, tastiere, stampanti, terminali video e *touchscreen*, *plotter*, *scanner*, lettori codici a barre, tessere magnetiche e *smart card*, dispositivi di comunicazione, *display* (alfanumerici, grafici, risoluzione, *pixel*, interlacciamento, frequenza, colori, *palette*).

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione. Esercizi sull'algebra booleana (vedi lezione settimana precedente).

Software di produttività. Fogli elettronici (Lotus e Excel): teoria ed esercizi. [8 ore]
Software di produttività: *editors* (di linea, di schermo), cenni sui *word processor* (con particolare riferimento a Wordstar), *text editor* e *text formatter*, fogli elettronici (con particolare riferimento a Lotus: calcoli, formule, indirizzi, funzioni matematiche, logiche ... /copia, /stampa, /grafico, /dati, ordinamenti, tabelle di frequenza, analisi dati e transcodifiche, programmi in Lotus: macro, parole chiave, sintassi, esempi).

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione. Lotus/Excel (esercizi).

Sistemi operativi; l'ambiente Windows: teoria ed esercizi. [8 ore]
Sistemi operativi: definizione di sistema operativo, classificazione (*single task*, *single user*, *multi task*, *multi user*), *batch*, *real-time*, *time sharing*, modalità di esecuzione dei *task*, (*user mode* e *system mode*), *system call*, modalità di interazione con l'utente, *bootstrap*, *interrupt*, priorità, il sistema operativo MS-DOS.

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione. Esercizi sui dispositivi periferici e indirizzamento memorie (vedi lezione settimana precedente).

Gestione dei file: definizione di *file*, *file system*, *directory*, metodi di allocazione su disco (allocazione contigua, *linked*, *indexed*, *block oriented*), gestione dei *file* nell'MS-DOS; l'ambiente Windows.

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione.

Sistemi di elaborazione complessi; reti di calcolatori. [12 ore]
Architetture non Von Neuman, sistemi complessi (crittografia, *account*, *password*).

Algoritmi di ordinamento. [4 ore]
Algoritmi di ordinamento (*bubble sort*, per inserzione, per selezione, *merge sort*), algoritmo di ricerca dicotomica, valutazione degli algoritmi (efficienza, complessità, robustezza).

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione.

Classificazione dei sistemi di elaborazione: diversi punti di vista, parametri significativi, *super computer*, *mainframe*, *mini computer*, *workstation*, *personal computer*, *home computer*.

Principali linguaggi di programmazione: evoluzione dei linguaggi, classificazione, linguaggi *assembler*, linguaggi ad alto livello, linguaggi funzionali, linguaggi di programmazione logica, linguaggi per la programmazione ad oggetti, linguaggi per la descrizione dello *hardware*.

Lezione/esercitazione sul linguaggio di programmazione.

Reti di calcolatori: cenni storici, definizioni, linee, *modem*, reti locali, geografiche, pubbliche, private, protocolli, gerarchie di reti, reti interconnesse, incapsulamento, datagrammi, schemi ethernet CSMA/CD, indirizzi fisici, indirizzi logici, reti a *token* (schema, indirizzamento, vantaggi e svantaggi), la rete dati del Politecnico, i servizi di posta elettronica e di *ftp* (prima parte).

Esercizi di teoria in preparazione all'esame.

Esercizi di programmazione in preparazione all'esame.

Reti di calcolatori (seconda parte).

Esercizi in preparazione all'esame.

ESERCITAZIONI. Sono previste esercitazioni di programmazione in "Quickbasic" in aula e sugli elaboratori del laboratorio di informatica di base. [40 ore]

BIBLIOGRAFIA

Teoria:

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

Peter Bishop, *Computing science*, Nelson; (anche in italiano: *L'informatica*, Jackson).

Programmazione:

M. Bonecchi, L. Zauli, *Programmare in QuickBASIC*, Città Studi.

D. Inmann, B. Albrecht, *Programmare in QuickBASIC*, McGraw-Hill.

P. Prinetto, *Fondamenti di informatica : lucidi*, Levrotto & Bella.

A.R. Meo, F. Peiretti, *Il libro dell'informatica*, Paravia.

E. Piccolo, *Tecniche di base e tecniche avanzate per l'uso del personal computer*, CLUT.

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

E. Piccolo, E. Macii, *Fondamenti di informatica : temi d'esame ed esercizi svolti*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

R. Arnsen, C. Gemell, H. Henderson, *MS-DOS QBasic : guida del programmatore*, McGraw-Hill.

Microsoft, *Microsoft QuickBASIC : l'ambiente di programmazione*.

ESAME

Le regole che esprimono le modalità di esame sono affisse nelle bacheche sia del Settore dell'informazione sia del Dipartimento di matematica; esse sono inoltre disponibili in copia presso la segreteria del Settore dell'informazione (piano terreno, di fronte all'aula 12).

P3370 Meccanica razionale

Anno: periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)
 Docenti: Eugenia Longo, M. Grazia Zavattaro

Scopo del corso è l'acquisizione dei modelli e metodi matematici atti allo studio di sistemi meccanici. Viene trattata la meccanica del corpo rigido e dei sistemi articolati, con particolare attenzione agli aspetti analitici e applicativi riguardanti l'ingegneria meccanica. Vengono inoltre introdotti i fondamenti matematici della meccanica dei continui.

REQUISITI

È opportuna una buona conoscenza di analisi matematica, geometria e *Fisica 1*.

PROGRAMMA

1. *Calcolo vettoriale e tensoriale.* [6 ore]

Teoria dei vettori liberi e applicati. Riduzione di sistemi di vettori applicati. Tensori euclidei e matrici. Algebra e analisi tensoriale. Operatori differenziali.

2. *Cinematica del moto rigido.* [14 ore]

Modellizzazione discreta di sistemi materiali. Classificazione cinematica dei vincoli; vincoli di posizione e di rigidità. Sistemi olonomi, coordinate lagrangiane, gradi di libertà. Richiami di cinematica del punto. Cinematica del moto rigido. Formula fondamentale delle velocità. Analisi dell'atto di moto rigido, asse del moto elicoidale. Moti relativi e composizione di moti rigidi. Angoli di Eulero, velocità angolare di rotazione, moto sferico. Moti rigidi piani; centro di velocità, polari, profili coniugati. Cinematismi piani e problemi di trasmissione del moto.

3. *Cinematica dei continui.* [4 ore]

Modellizzazione continua dei sistemi materiali; descrizione euleriana e lagrangiana del moto. Analisi della deformazione finita. Gradiente di velocità, sua decomposizione e studio locale dell'atto di moto.

4. *Geometria delle masse.* [8 ore]

Baricentri, momenti statici, di inerzia e centrifughi. Tensore ed ellissoide d'inerzia; assi principali d'inerzia. Quantità di moto, momento angolare, energia cinetica e loro espressione per sistemi rigidi. Teorema del trasposto ed equazione di bilancio di conservazione della massa per sistemi dinamici continui.

5. *Equazioni fondamentali della dinamica e della statica.* [18 ore]

Principi della dinamica. Classificazione delle forze attive. Reazioni vincolari; coppie cinematiche senza attrito e riduzione del sistema di reazioni vincolari. Equazioni cardinali della statica. Studio analitico e grafico di equilibrio e di reazioni vincolari. Teoremi della quantità di moto e del momento angolare e relativi integrali primi. Teorema e integrale primo dell'energia; analisi qualitativa del moto di sistemi con un grado di libertà. Riduzione delle forze d'inerzia; applicazioni analitiche e grafiche allo studio di moti e reazioni vincolari dinamiche. Moto di un solido con asse fisso; rotore equilibrato dinamicamente e staticamente. Equazioni di Eulero del moto di un solido con punto fisso. Sistemi a struttura giroscopica e moti di precessione regolare; fenomeni giroscopici elementari. Dinamica relativa ed equilibrio relativo.

6. *Introduzione alla dinamica dei continui.* [6 ore]

Teorema di bilancio della quantità di moto, lemma di Cauchy, tensore degli sforzi.

Applicazioni a fluidi perfetti e barotropici. Cenni introduttivi sulle equazioni alle derivate parziali della fisica matematica.

7. *Meccanica dei sistemi olonomi.* [8 ore]

Equazione simbolica della dinamica e principio dei lavori virtuali. Energia cinetica di sistemi olonomi. Equazioni di Lagrange; energia generalizzata ed equazioni di Hamilton (cenni). Analisi del moto nello spazio delle fasi.

8. *Stabilità, vibrazioni e analisi del moto.* [8 ore]

Stabilità delle configurazioni di equilibrio. Funzione di Liapunov e criteri di stabilità. Linearizzazione delle equazioni del moto. Vibrazioni libere, modi e frequenze proprie di vibrazione di sistemi conservativi. Ricerca delle soluzioni del moto; cenni sui metodi di integrazione numerica di sistemi dinamici non lineari.

ESERCITAZIONI

Agli studenti 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]

Equazioni di Lagrange. [6 ore]

Dinamica e statica relativa. [4 ore]

Stabilità di configurazioni di equilibrio, linearizzazione delle equazioni del moto e frequenze proprie di vibrazione. [8 ore]

LABORATORIO [8 ore, facoltative]

Nell'ultimo mese del corso gli studenti potranno svolgere un ciclo di esercitazioni di approfondimento su *personal computer* presso il LAIB, riguardanti l'analisi del moto di particolari sistemi meccanici non lineari.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

M. Fabrizio, *Introduzione alla meccanica razionale e ai suoi metodi matematici*, Zanichelli, Bologna, 1991.

R. Riganti, *Fondamenti di meccanica classica*, Levrotto & Bella, Torino, 1987.

Testi ausiliari:

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

S. Nocilla, *Meccanica razionale*, Levrotto & 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.

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. Inoltre durante l'ultimo periodo del semestre è prevista una prova scritta, il cui superamento comporta l'esonero dalla prova scritta per gli appelli di giugno-luglio. È necessario iscriversi all'esame presso la segreteria didattica del dipartimento di Matematica.

P 1795 **Elettrotecnica + Macchine elettriche** (Corso integrato)

Anno: periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)
Docenti: Aldo Boglietti, Maurizio Repetto

Il corso comprende la trattazione di fenomeni elettrici e magnetici a bassa frequenza, con particolare attenzione alla conversione elettromeccanica dell'energia ed al principio di funzionamento delle principali macchine elettriche. Scopo del corso è fornire le basi metodologiche per un utilizzo razionale, corretto e sicuro delle apparecchiature elettriche.

REQUISITI. *Analisi matematica 1 e 2, Fisica 1 e 2.*

PROGRAMMA

1. Circuiti.

Modello circuitale dei fenomeni elettromagnetici, ipotesi fondamentale del modello circuitale, definizione di componente e classificazione dei componenti ideali cenni ai componenti reali, leggi dei circuiti. [6 ore]

Teoremi di rete: teorema di sovrapposizione, teoremi dei circuiti equivalenti di Thévenin e di Norton, teorema di Millmann, trasformazioni energetiche nei circuiti e teorema di Tellegen. [4 ore]

Evoluzione dei circuiti nel tempo delle reti lineari tempo-invarianti, richiami alla soluzione delle equazioni differenziali a coefficienti costanti, nozione di transitorio e regime, transitori nei circuiti del primo ordine, carica del condensatore e dell'induttore. [6 ore]

Regime sinusoidale, metodo simbolico, impedenza ed ammettenza, diagrammi vettoriali, fenomeno della risonanza ed antirisonanza, potenza nei circuiti in regime sinusoidale, potenza attiva e reattiva, rifasamento. [10 ore]

Sistema trifase, definizioni, generatori e carichi trifase, collegamenti a stella e triangolo, metodi di soluzione di circuiti trifase equilibrati e non, misura della potenza. [8 ore]

2. Campi.

Richiami di algebra vettoriale, equazioni di Maxwell in forma integrale, equazioni di legame materiale, classificazione dei materiali di interesse tecnico, materiali dielettrici conduttori e magnetici fenomeno della nonlinearietà ed isteresi magnetica. [4 ore]

Campo elettrostatico, capacità e rigidità dielettrica. [2 ore]

Campo di corrente, resistenza, dispersori di terra. [2 ore]

Campo magnetico statico e lentamente variabile, circuiti magnetici, riluttanza ed induttanza, mutua induttanza, energia nei circuiti magnetici lineari e nonlineari induzione elettromagnetica trasformatorica e mozionale, perdite nel ferro. [5 ore]

Bilancio energetico delle trasformazioni elettromeccaniche, principio dei lavori virtuali e calcolo di forze nei circuiti magnetici. [5 ore]

3. Elementi di impianti elettrici e sicurezza elettrica.

Dimensionamento e protezione dei conduttori impianti a bassa tensione, impianti di terra, cenni alle normative antinfortunistiche, interruttore differenziale. [6 ore]

4. Macchine elettriche.

Macchina elettrica a corrente continua, commutazione, cenni costruttivi equazioni della macchina, eccitazione indipendente, serie e derivata, caratteristiche meccaniche, regolazione e problemi di avviamento. [8 ore]

Trasformatore monofase, trasformatore ideale e circuito equivalente del trasformatore

reale, prova a vuoto ed in corto circuito, determinazione dei parametri di macchina, parallelo di trasformatori, trasformatori trifase, gruppo orario. [6 ore]

Motore ad induzione, principio del campo rotante di Galileo Ferraris, circuito equivalente, prove a vuoto ed in corto circuito, caratteristica meccanica, regolazione di velocità, motore asincrono monofase. [8 ore]

Cenni alla macchina sincrona e *brushless*. [2 ore]

ESERCITAZIONI

Esercitazioni sui circuiti. [12 ore]

Esercitazioni sui campi. [4 ore]

Esercitazioni sulle macchine. [8 ore]

BIBLIOGRAFIA

F. Ciampolini, *Fondamenti di elettrotecnica*, Pitagora, Bologna.

L. Olivieri, E. Ravelli, *Principi ed applicazioni di elettrotecnica*, CEDAM, Padova.

ESAME

L'esame è composto da una prova scritta e da un colloquio. Il superamento della prova scritta è vincolante per l'ammissione all'orale. La prova scritta comprende tre esercizi sulle parti del corso per la cui soluzione è possibile la consultazione di testi ed appunti. La presa visione del testo di esame comporta la registrazione del verbale di esame. Il risultato della prova scritta è valido entro la prima tornata di esami orali.

P4600 **Scienza delle costruzioni**

Anno/periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 60+60 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Alberto Carpinteri (collab.: Bernardino Chiaia, Cecilia Surace)

Scopo del corso è quello di introdurre la meccanica dei solidi elastici lineari con le equazioni di equilibrio, di congruenza e di legame costitutivo. Tali relazioni vengono dedotte nel caso dei solidi tridimensionali (corpi tozzi), bidimensionali (lastre o piastre) e unidimensionali (travi) e quindi unificati in una formulazione del tutto generale, utile soprattutto per le applicazioni numeriche.

Viene trattata poi la teoria dei sistemi di travi sotto il duplice aspetto statico e cinematico. L'equilibrio delle strutture isostatiche è interpretato sia sul piano algebrico che su quello grafico ed in tale contesto vengono definite le caratteristiche interne della sollecitazione. La soluzione delle strutture iperstatiche viene proposta in linea generale applicando sia il metodo delle forze (o della congruenza) che quello degli spostamenti (o dell'equilibrio). Quest'ultimo si rivela particolarmente utile per eseguire in maniera automatica il calcolo dei sistemi a molti gradi di iperstaticità.

Vengono analizzati quindi in particolare i telai a nodi fissi e i telai a nodi spostabili con due metodi alternativi: il cosiddetto "metodo dei telai piani" (secondo il quale si svincola la struttura introducendo cerniere in tutti i nodi-incastro), e il principio dei lavori virtuali.

Vengono infine descritti i fenomeni di collasso più frequenti nell'ingegneria strutturale: lo svergolamento, lo snervamento e la frattura fragile.

REQUISITI. *Analisi matematica 1 e 2, Fisica 1, Meccanica razionale.*

PROGRAMMA

1. *Geometria delle aree.*

Leggi di trasformazione del vettore dei momenti statici e del tensore dei momenti di inerzia per roto-traslazioni del sistema di riferimento; direzioni e momenti principali di inerzia; cerchi di Mohr; simmetria assiale e polare.

2. *Cinematica dei sistemi di travi.*

Vincoli piani; maldisposizione dei vincoli; studio algebrico; studio grafico dei sistemi ad un grado di labilità (catene cinematiche).

3. *Statica dei sistemi di travi.*

Studio algebrico; dualità statico-cinematica.

4. *Sistemi di travi isostatici.*

Determinazione delle reazioni vincolari con le equazioni ausiliarie, con il principio dei lavori virtuali e con il metodo grafico; curva delle pressioni; caratteristiche interne della sollecitazione; equazioni indefinite di equilibrio per le travi; archi a tre cerniere; travi Gerber; strutture chiuse; travature reticolari.

5. *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.

6. *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; equazioni indefinite di equilibrio; equazioni di equivalenza al contorno; formulazione matriciale e dualità statico-cinematica; principio dei lavori virtuali.

7. *Legge costitutiva elastica.*

Elasticità lineare; isotropia; modulo di Young e coefficiente di Poisson; problema elastico; equazione di Lamé in forma operatoriale; teorema di Clapeyron; teorema di Betti.

8. *Criteri di sicurezza.*

Diagrammi tensione – deformazione per materiali duttili e fragili; energia di frattura; criterio di Tresca; criterio di von Mises.

9. *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); equazioni di congruenza per le travi; equazione di Lamé per le travi; equazione differenziale della linea elastica; lastre inflesse.

10. *Sistemi di travi iperstatici.*

Simmetria e anti-simmetria; metodo delle forze; iperstaticità assiale; cedimenti elastici; cedimenti anelastici e spostamenti imposti; calcolo automatico dei sistemi a molti gradi di iperstaticità (travature reticolari, telai piani e spaziali, grigliati); metodo degli spo-

stamenti; distorsioni termiche; travi continue; telai a nodi fissi; telai a nodi spostabili; principio dei lavori virtuali (determinazione degli spostamenti nelle strutture isostatiche e risoluzione delle strutture iperstatiche); teorema di Castigliano; teorema di Menabrea.

11. *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 elastoplastica, cerniera plastica, analisi evolutiva ed analisi limite di strutture iperstatiche); meccanica della frattura (analisi energetica di Griffith, fattore di intensificazione delle tensioni, effetti di scala).

12. *Metodo degli elementi finiti.*

Principio di minimo dell'energia potenziale totale, metodo di Ritz-Galerkin; applicazione del principio dei lavori virtuali; matrici di rigidezza locale e globale.

BIBLIOGRAFIA

A. Carpinteri, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna, 1992.

A. Carpinteri, *Temi d'esame*, Pitagora, Bologna, 1993.

ESAME

L'esame prevede sia una prova scritta che una prova orale. Il compito scritto propone la soluzione di tre esercizi (una struttura isostatica, una struttura iperstatica, una verifica di resistenza). Ciascun esercizio pone due quesiti, al primo dei quali sono aggiudicabili 7/30 mentre al secondo 3/30.

Si suggerisce di attrezzarsi convenientemente per lo svolgimento della prova scritta (carta quadrettata, matite, penne, squadra, etc.). Si segnala invece che non è permesso l'uso di testi e appunti (si prega di consegnarli ai vigilanti).

P3230 Meccanica dei fluidi

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

Docenti: Luigi Butera, Sebastiano Sordo (collab.: Luca Ridolfi, Maurizio Rosso)

Il corso si propone di fornire gli elementi per il proporzionamento dei recipienti destinati a contenere fluidi e per il dimensionamento delle condotte di convogliamento. Partendo da una impostazione teorica, si perviene alle applicazioni pratiche, con particolare riguardo a quelle specifiche dell'area meccanica.

REQUISITI. *Analisi matematica 1 e 2, Fisica 1, Meccanica razionale.*

PROGRAMMA

I fluidi e le loro caratteristiche. [4 ore]

Definizione di fluido; i fluidi come sistemi continui; grandezze della meccanica dei fluidi e unità di misura; proprietà fisiche; regimi di movimento; sforzi nei sistemi continui.

Statica dei fluidi e dei galleggianti. [9 ore]

Equazione indefinita della statica dei fluidi; equazione globale dell'equilibrio statico; statica dei fluidi pesanti incompressibili: misura della pressione, spinta su una superficie piana e spinta su superfici curve; spinta sopra corpi immersi; statica dei fluidi pesanti

comprimibili; equilibrio relativo. Equilibrio e stabilità dei galleggianti. Applicazioni ai natanti ed all'uso dei galleggianti come trasduttori di livello nei serbatoi.

Regolazione delle portate mediante serbatoi. [2 ore]

Regolazione a volume affluente e defluente costante; regolazione a capacità costante; regolazione di continuità; equazione di continuità.

Cinematica dei fluidi e dinamica dei fluidi. [5 ore]

Impostazione euleriana e lagrangiana; velocità e accelerazione; equazioni del moto; equazioni di stato.

Dinamica dei fluidi perfetti. [15 ore]

Variatione del carico piezometrico lungo la normale la binormale e la tangente alla traiettoria; correnti lineari; teorema di Bernoulli; interpretazione geometrica ed energetica; applicazione ad alcuni processi di efflusso; potenza di una corrente in una sezione; estensione del teorema di Bernoulli a una corrente; applicazione del teorema di Bernoulli alle correnti per misurare le portate in condotti: venturimetri e boccali; estensione del teorema di Bernoulli ai fluidi comprimibili; equazione del moto vario ed applicazioni; moti irrotazionali e relativa estensione del teorema di Bernoulli; stramazzi.

Analisi dimensionale e cenni di teoria dei modelli. [3 ore]

Dinamica dei fluidi reali. [5 ore]

Esperienza di Reynolds; equazione di Navier; equazione globale di equilibrio.

Correnti in pressione. [15 ore]

Generalità sul moto uniforme; moto laminare; caratteristiche generali del moto turbolento; grandezze turbolente e valori medi; sforzi tangenziali turbolenti; ricerche sul moto uniforme turbolento: moto nei tubi lisci, moto nei tubi scabri, diagramma di Moody, diagrammi di Moody modificati per i problemi di progetto e di verifica; formule pratiche. Perdite di carico localizzate: brusco restringimento; perdite di imbocco e di sbocco, convergenti e divergenti.

Generalità sulle lunghe condotte; schemi pratici per una lunga condotta a diametro costante; reti di condotte a gravità e impianti di sollevamento: problemi idraulicamente indeterminati resi determinati con criteri di economia; possibili tracciati altimetrici delle lunghe condotte; reti chiuse: progetto e verifica con il metodo di Cross.

Moto vario delle correnti in pressione. [8 ore]

Colpo d'ariete nelle condotte adduttrici; colpo d'ariete negli impianti di sollevamento; dispositivi di attenuazione; casse d'aria; influenza del tipo di trasformazione subita dall'aeriforme.

Moti di filtrazione. [4 ore]

Generalità; legge di Darcy-Ritter e generalizzazioni; moto permanente in falde artesiane e freatiche. Applicazioni pratiche.

ESERCITAZIONI

Nelle esercitazioni verranno trattati problemi pratici attinenti agli argomenti svolti a lezione. Più significativamente, ed in via orientativa, queste esercitazioni riguarderanno una la statica dei fluidi ed i galleggianti, tre il moto dei fluidi perfetti e l'analisi dimensionale, cinque il moto dei fluidi reali ed una i fenomeni di moto vario nelle correnti in pressione.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

G. De Marchi, *Idraulica*, Hoepli, Milano, 1960.

Testi ausiliari,

A. Ghetti, *Idraulica*, Cortina, Padova, 1980.

E. Marchi, A. Rubatta, *Meccanica dei fluidi*, UTET, Torino, 1982.

ESAME. L'esame è di tipo tradizionale, orale, e verterà sugli argomenti svolti a lezione nonché sugli esercizi sviluppati nelle esercitazioni.

P0845 **Controlli automatici +
Elettronica applicata**
(Corso integrato)

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4(6)+2(4)+2 (ore settimanali)

Docente: Gustavo Belforte

Scopo del corso è di introdurre lo studente all'analisi dei sistemi dinamici ed al progetto di semplici sistemi di controllo dando altresì alcune indicazioni sui circuiti elettronici per realizzare tali sistemi.

REQUISITI. È richiesta la conoscenza dei contenuti dei corsi di analisi e di fisica.

PROGRAMMA

1. Introduzione al corso. Strumenti matematici per l'analisi di sistemi dinamici: la trasformata di Laplace. Cenni di modellistica: costruzione di modelli di sistemi elettrici, elettronici, meccanici, elettromeccanici, ecc. Rappresentazione dei sistemi dinamici in variabili di stato e mediante funzione di trasferimento. Algebra dei blocchi. Evoluzione nel tempo dei sistemi dinamici. Matrici di transizione. [12 ore]
2. La stabilità dei sistemi dinamici. Stabilità alla Lyapunov e BIBO stabilità. [5 ore]
3. Controllabilità e osservabilità dei sistemi dinamici. Forme canoniche. Retroazione degli stati e osservatore degli stati. [8 ore]
4. Il controllo in catena aperta e in catena chiusa. Diagrammi di Bode e di Nyquist. Stabilità dei sistemi retroazionati: criterio di Routh-Hurwitz, il criterio di Nyquist. [12 ore]
5. La risposta transitoria e a regime dei sistemi dinamici. Specifiche nel dominio del tempo e della frequenza per i sistemi dinamici. Attenuazione dei disturbi parametrici e additivi. Astaticità ai disturbi. [8 ore]
6. Progetto di compensatori in serie basati sul diagramma di Bode della funzione di trasferimento di anello. [9 ore]
7. Il luogo delle radici. [5 ore]
8. Circuiti e dispositivi elettronici per la realizzazione di compensatori e controllori. [4 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni non sono rigidamente distinte dalle lezioni; esse riguardano sia lo svolgimento di esercizi relativi alla teoria illustrata a lezione sia lo sviluppo delle parti più applicative del programma. L'articolazione in punti è identica a quella del programma delle lezioni mentre il tempo dedicato ad ogni argomento è circa la metà o i due terzi di quello indicato per le lezioni corrispondenti.

LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio sono tutte svolte presso il LAIB. Esse devono servire per acquisire i primi rudimenti nell'uso di un moderno programma (MATLAB) per l'analisi e il progetto di sistemi di controllo. Con l'aiuto di tale programma vengono svolti degli esercizi simili a quelli visti a lezione e nelle esercitazioni in aula, ma vengono anche affrontati problemi più complessi che difficilmente potrebbero essere trattati senza l'ausilio di un calcolatore. Argomenti delle esercitazioni sono:

1. Introduzione all'uso di Matlab e dei suoi comandi.
2. Studiare l'evoluzione nel tempo dei sistemi dinamici.
3. Studiare la stabilità, la controllabilità e l'osservabilità dei sistemi dinamici.
4. Tracciare i diagrammi di Bode ed i diagrammi di Nyquist di varie funzioni di trasferimento.
5. Confronto delle funzioni di trasferimento ad anello aperto e ad anello chiuso. Analisi degli effetti della presenza dell'anello di retroazione.
6. Luogo delle radici e progetto di reti compensatrici.

È prevista una divisione in squadre in relazione alla capienza dei LAIB e una divisione in gruppi di due studenti per ogni macchina. Durante le esercitazioni in laboratorio viene verificata la presenza.

BIBLIOGRAFIA

Ci sono moltissimi testi che trattano la materia oggetto di questo corso, ma non ce n'è nessuno che tratti tutti gli argomenti svolti lezione. Per la preparazione del corso il docente ha fatto riferimento principalmente ai testi:

Luenberger, *Linear dynamic systems*, Wiley, New York;

E. Rohrs, J.L. Melsa, D.G. Shultz, *Linear control systems*, McGraw-Hill, New York;

a cui si rimanda per approfondimenti. Tuttavia si consiglia di prendere appunti a lezione. Per ulteriori approfondimenti gli studenti possono far riferimento a:

Rinaldi, *Teoria dei sistemi*, CLUP, Milano.

Ogata, *Modern control engineering*, Prentice-Hall, London.

Fiorio, *Controlli automatici*, CLUT, Torino.

Calimani, A. Lepschy, *Feedback, guida ai cicli di retroazione : dal controllo automatico al controllo biologico*, Garzanti (Strumenti di studio).

ESAME

Per essere ammessi a sostenere l'esame bisogna avere ottenuto la firma di frequenza. La firma di frequenza non viene concessa a quegli studenti che risultino assenti a più del 70 % delle esercitazioni di laboratorio.

Per essere ammessi a sostenere l'esame bisogna iscriversi, presso la segreteria studenti dei dipartimenti elettrici (davanti all'aula 12) entro le ore 12:00 del terzo giorno lavorativo (a tal fine il sabato è considerato festivo) precedente il giorno in cui si svolge la prima prova dell'appello.

Per essere ammessi a sostenere l'esame bisogna presentarsi all'ora e nel luogo stabilito muniti di statino valido e di libretto o tesserino universitario.

L'esame viene superato svolgendo in modo soddisfacente, negli appelli ufficiali, due prove scritte di cui la prima consiste nel rispondere ad una serie di domande organizzate in forma di "scelta multipla" mentre la seconda è una prova di tipo progettuale svolta in laboratorio. Qualora risultasse impossibile usare i LAIB, la seconda prova verrebbe

laboratorio. Qualora risultasse impossibile usare i LAIB, la seconda prova verrebbe svolta in aula. L'ammissione alla seconda prova è condizionata al superamento della prima.

Qualora uno studente superi la prima prova ma non la seconda viene riprovato, tuttavia gli viene riconosciuta la facoltà di sostenere la sola seconda prova in un successivo appello entro la fine dell'anno accademico. In tal caso per la parte relativa alla prima prova fa fede il risultato già acquisito. Si ribadisce che ogni anno, all'inizio delle lezioni del corso, viene azzerata la memoria relativa ad eventuali esami sostenuti solo in parte che devono quindi essere ripetuti integralmente dagli interessati.

Non è previsto che ci si possa ritirare durante le prove.

Durante il corso sono previste tre prove distribuite che sostituiscono la prima prova d'esame.

Durante prove ed esami non è consentito l'uso di appunti eccezion fatta per un foglio formato A4 sul quale lo studente può riportare ogni nota egli ritenga utile. Su tale foglio, strettamente personale, devono essere riportati chiaramente nome, cognome e matricola. È altresì concesso l'uso di un analogo foglio con le sole trasformate di Laplace (e regole di trasformazione) nonché, ove necessari, i diagrammi universali per il calcolo dei compensatori.

P3210 Meccanica applicata alle macchine

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

Docente: Guido Belforte

Scopo del corso è quello di esaminare le leggi fondamentali che regolano il funzionamento dei dispositivi meccanici e delle macchine, di effettuare l'analisi funzionale dei componenti meccanici e l'analisi dinamica dei sistemi meccanici.

REQUISITI. Nozioni di meccanica di base.

PROGRAMMA

Ruote dentate e rotismi. Trasmissione del moto tra assi paralleli, incidenti e sghembi. Ruote ad attrito. Profilo dei denti. Ruote cilindriche a denti diritti: elementi geometrici, interferenza, proporzionamento modulare, minimo numero di denti, forze scambiate e reazioni sui supporti. Ruote cilindriche a denti elicoidali: elementi geometrici, grandezze normali e frontali, forze scambiate e reazioni sui supporti. Ruote coniche: elementi geometrici, ruota piano conica, forze scambiate e reazioni sui supporti. Ruote cilindriche a denti elicoidali tra assi sghembi. Coppia vite senza fine e ruota elicoidale. Rotismi ordinari ed epicicloidali. Differenziali e cambi di velocità. [18 ore]

Aderenza ed attrito. Attrito radente e volvente. Impuntamento. Applicazioni al moto di ruote e veicoli, quadrilateri, supporti a rotolamento, montaggio di perni. Sistema vite e madrevite: rendimento, reversibilità, viti differenziali. Freni a ceppi piani, a tamburo, a disco. Frizioni piane, multiple, coniche. [18 ore]

Trasmissione del moto con flessibili: cinghie piane e trapezoidali (rapporto di trasmissione, rendimento, ecc.), funi, catene, paranchi. [6 ore]

Giunti di trasmissione: elastici, articolati, giunto di Cardano, giunti omocinetici. Sistemi con camma e punteria. [4 ore]

Supporti a rotolamento e lubrificati. Proprietà dei lubrificanti, teoria elementare della lubrificazione, perni e pattini lubrificati. [6 ore]

Equilibri dinamici. Applicazioni del teorema della quantità di moto, del momento della quantità di moto e dell'energia. Sollecitazioni dinamiche su elementi rotanti ed equilibramento dei rotori. Studio dei fenomeni transitori nelle macchine. Accoppiamento di macchine motrici ed operatrici. Funzionamento in regime periodico. Calcolo dei volani. [10 ore]

Vibrazioni di sistemi a parametri concentrati ad uno ed a più gradi di libertà. Uso delle trasformate nello studio dei sistemi vibranti. Misura delle vibrazioni. Trasmissibilità. Velocità critiche. [8 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nello svolgimento di esercizi relativi a quanto sviluppato nelle lezioni, con particolare riferimento all'uso di dati numerici e alle unità di misura. Durante le esercitazioni saranno forniti agli studenti degli esercizi da svolgere nel corso della settimana, la cui soluzione sarà presentata la volta successiva. Si raccomanda vivamente di provare a svolgerli a casa. Ai fini di una verifica orientativa del tipo di preparazione potranno venire assegnati in aula esercizi da svolgere con l'assistenza diretta del personale docente e degli studenti borsisti.

BIBLIOGRAFIA

Belforte, *Meccanica applicata alle macchine*, Giorgio, Torino, 1989.

ESAME. L'esame si svolge in forma orale sull'intero programma del corso (lezione ed esercitazione).

P2060 **Fisica tecnica**

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+3 (ore settimanali)

Docente: Paolo Anglesio

Il contenuto del corso è quello tradizionale della fisica tecnica presso questa facoltà; comprende argomenti strettamente termici (termodinamica applicata e termofluidodinamica) che costituiscono un collegamento tra corsi del biennio (*Fisica 2*) e del triennio (*Macchine*); contiene argomenti più particolari (illuminotecnica e acustica applicata) che di norma non vengono ripresi in corsi successivi.

REQUISITI. *Fisica 2, Meccanica dei fluidi.*

PROGRAMMA

Illuminotecnica

Grandezze fondamentali, fotometriche ed energetiche. Sorgenti e illuminamento. Curva di visibilità e campione fotometrico. Lampade e loro efficienza.

Acustica applicata

Onde e propagazione dell'energia elastica. Audiogramma normale. Proprietà dei materiali. Riverberazione. Isolamento acustico.

Termodinamica applicata

Sistemi, stati, trasformazioni. Principio di conservazione dell'energia, forma termica e meccanica, per sistemi chiusi e aperti. Energia interna e entalpia. Secondo principio della termodinamica, entropia, irreversibilità, exergia. Gas perfetti e gas quasi perfetti; proprietà.

Cicli diretti, indicatori delle prestazioni. Cicli ideali a gas (Otto, Joule, Diesel, Carnot e cicli rigenerativi). Vapori e loro proprietà; ciclo Rankine diretto e provvedimenti migliorativi delle prestazioni.

Cicli inversi, a gas e a compressione di vapore. Effetto Joule-Thomson, gas reali, liquefazione dell'aria. Miscele aria - vapore; diagramma di Mollier dell'aria umida.

Termofluidodinamica

Fenomeni di trasporto della massa, della quantità di moto e della energia. Principi di conservazione. Resistenze al moto prodotto da differenza di densità.

Conduzione termica, legge di Fourier, conducibilità, equazione generale della conduzione e applicazioni. Convezione, naturale e forzata. Analisi dimensionale. Analogia di Reynolds, modifica di Prandtl. Irraggiamento, leggi fondamentali, scambio termico tra corpi neri e grigi. Scambio termico laminare e globale, resistenza termica, analogo elettrico. Scambiatori di calore, metodi di calcolo

ESERCITAZIONI

Illuminazione artificiale di una strada.

Misura della potenza acustica di una macchina.

Ciclo Joule diretto, con attriti.

Ciclo Rankine diretto, con rigenerazione e cogenerazione.

Misura della umidità relativa dell'aria.

Scambio termico e resistenze al moto in uno scambiatore di calore.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

P. Anglesio, M. Calì, G.V. Fracastoro, *Esercitazioni di fisica tecnica*, CELID, Torino, 1983.

P1405**Disegno di macchine +
Tecnologia meccanica**

(Corso integrato)

[A partire dall'anno 1996/97 si terrà a 3:1]

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

Docenti: Raffaello Levi, Antonio Zompì (collab.: D. Romano, L. Settineri)

L'insegnamento, collocato tra il corso propedeutico di *Disegno tecnico industriale* ed il corso di *Tecnologia meccanica* del quarto anno, ha lo scopo di integrare organicamente le nozioni del disegno tecnico applicate al rilievo ed alla rappresentazione di complessivi e particolari meccanici con quelle relative a componenti e montaggi tipici delle macchine ed ai processi di lavorazione e collaudo per pezzi singoli utilizzati nella produzione meccanica.

PROGRAMMA

Materiali metallici: richiami su designazione e proprietà meccaniche.

Prova di trazione, normativa. Curve tensioni – deformazioni nominali, reali; modellizzazione, instabilità in trazione.

Prova di compressione; influenza principali parametri.

Durezza: scale, misura. Relazione fra durezza e resistenza.

Richiami sulle tolleranze dimensionali, unificazione. Tolleranze geometriche di forma, orientamento, posizione; quotatura, implicazioni in termini di lavorazione.

Scelta, condizioni funzionali, metodi di misura.

Finitura superficiale e rugosità delle superfici: rilievo e designazione, relazioni con tolleranze, lavorazione, uso. [10 ore]

Organi di macchine per trasmissioni mediante flessibili (cinghie e catene); designazione e quotatura.

Ruote dentate con profilo ad evolvente: elementi caratteristici; dentiera di riferimento. Rappresentazione convenzionale di ingranaggi cilindrici a denti diritti ed elicoidali, conici; coppia vite senza fine – ruota elicoidale.

Richiami sulle forze scambiate e reazioni sui supporti.

Quotatura, finitura superficiale, tolleranze. [12 ore]

Giunti ed innesti.

Supporti; cenni sui cuscinetti radenti e loro rappresentazione. Classificazione e unificazione dei cuscinetti volventi; tolleranze dimensionali per alberi e sedi. Criteri di scelta e di montaggio; considerazioni relative alla durata. Dispositivi di protezione e di tenuta.

Trasmissione del moto nelle macchine utensili. Numeri normali e loro impiego. Cambi di velocità ad ingranaggi per moti di taglio, di avanzamento; descrizione mediante diagrammi di Gernar, illustrazione di schemi costruttivi. [12 ore]

Principali processi di lavorazione per asportazione di truciolo (da semilavorati a pezzi singoli).

Tornitura: operazioni ed utensili caratteristici, montaggi pezzo. Tornio parallelo, frontale, verticale. Organi di guida e di trasmissione dei moti.

Lavorazione dei fori ed utensili caratteristici. Trapani da banco, a montante, radiali. Attrezzature semplici (maschere), mandrini multipli.

Schemi delle principali operazioni di fresatura frontale, periferica e di forma, utensili relativi. Fresatrice orizzontale, verticale, universale, per attrezzisti, a banco fisso.

Alesatrice orizzontale; cenni a centri di lavorazione a CN, macchine di misura. Tempi di lavorazione. [8 ore]

Lavorazioni con moto di taglio rettilineo: limatrice, piallatrice, stozzatrice, brocciatrice, utensili e lavorazioni caratteristiche, schemi costruttivi.

Rettifica di superfici cilindriche interne ed esterne, piane, di forma e relativi schemi funzionali.

Taglio di ruote dentate cilindriche. Dentatura mediante fresa, coltello, dentiera, creatore: schemi lavorazione, caratteristiche utensili. Cenni su metodi di produzione di serie; finitura superficiale (sbarbatura, rettifica).

Affilatura di utensili a tagliente rettilineo, di forma. [6 ore]

Metrologia d'officina: calibro a corsoio, micrometro, comparatore, goniometro, proiettore di profili, blocchetti di riscontro. Collaudo dimensionale, cenni su macchine di misura.

Cicli di lavorazione per pezzi singoli. Scelta di semilavorati, superfici di riferimento e

di bloccaggio, utensili, macchine utensili; sequenza delle operazioni, parametri di taglio; relazioni con capacità di processo. [8 ore]

Il taglio dei metalli. La formazione del truciolo: modelli "a zona di deformazione" e "a piano di scorrimento" nel taglio ortogonale. Fattore di ricalcamento, deformazione del truciolo; velocità di taglio, di flusso, di scorrimento, di deformazione. Attrito tra superfici metalliche nel taglio: adesione, incrudimento ed implicazioni. Analisi delle forze di taglio nel sistema utensile - truciolo - pezzo. Meccanica del taglio: modelli di Merchant, di Lee & Shaffer. Cenni sul taglio tridimensionale. Pressione di taglio e forze di taglio; dipendenza da parametri geometrici e tecnologici. [10 ore]

Materiali per utensili: caratteristiche meccaniche e tecnologiche. Acciai al carbonio, rapidi e super rapidi. Stellite, carburi di tungsteno sinterizzati, rivestiti. Materiali ceramici e *cermets*. Sialon, CBN e diamante. Configurazione e bloccaggio degli inserti. Scelta dei parametri di taglio. Decadimento utensili; degrado progressivo, rottura catastrofica. Influenza condizioni di taglio, sollecitazioni meccaniche e termiche. Usura e rilievi relativi. Meccanismi: abrasione, adesione, diffusione, ossidazione, scorrimento. Determinazione della durata utile. Legge di Taylor, sua generalizzazione. Dispersione nei risultati; durata come variabile casuale ed implicazioni. [10 ore]

ESERCITAZIONI

(Aula) Disegno di particolari meccanici e di complessivi tipici, con riferimento alle macchine utensili.

Cicli di lavorazione di particolari meccanici.

(Laboratorio) Rilievo delle caratteristiche meccaniche di materiali metallici: prove di trazione, di durezza.

Elaborazione statistica di dati sperimentali.

Osservazione di lavorazioni meccaniche, rilievo di forze di taglio in tornitura e foratura.

Filmati su lavorazioni meccaniche e sul processo di formazione del truciolo.

Rilievo di pezzi ed esecuzione di misure d'officina mediante calibro a corsoio, micrometro, goniometro, comparatore, proiettore di profili, rugosimetro.

BIBLIOGRAFIA

G. Manfrè, R. Pozza, S. Scarato, *Disegno meccanico. Vol. 2 e 3*, Principato, Milano, 1992.

S. Kalpakjian, *Manufacturing processes for engineering materials*, 2nd ed., Addison Wesley, Reading, 1991.

Me/Di Sviluppo, *Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico*, Giunti, Torino, 1995.

ESAME

Prenotazione esami presso la segreteria didattica del dipartimento; sono ammessi gli allievi che hanno seguito i laboratori e fatto vistare nei termini stabiliti le relative relazioni, e fatto vistare parimenti i disegni assegnati. L'esame comprende prima dell'orale una prova scritta; è consentito il ritiro senza alcuna formalità entro un'ora dall'inizio della prova, nel corso della quale è consentita la consultazione di testi ed appunti. Sono esentati *una tantum* dalla prova scritta d'esame (validità un anno) gli allievi in corso che abbiano superato le due prove di accertamento durante il semestre.

P 5584 **Tecnologia dei materiali metallici** (Corso ridotto)

Sostituisce, per l'anno 1995/96, il corso integrato "P5575, Tecnologia dei materiali e chimica applicata + Tecnologia dei materiali metallici"

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+1 (ore settimanali)

Docenti: Donato Firrao, Giorgio Scavino

(collab.: Graziano Ubertalli, Giovanni Maizza, Francesco Rosalbino, Carmelo Baeli)

Nell'ambito del corso sono dapprima sviluppati i principi fondamentali del comportamento dei metalli e delle leghe, in riferimento alle loro caratteristiche meccaniche ed all'influenza esercitata da composizione chimica, microstruttura, trattamenti termici e lavorazioni meccaniche. Vengono quindi dettagliatamente esaminate le principali classi di acciai, ed i trattamenti termici e termochimici atti a conferire le caratteristiche meccaniche richieste, le ghise, le leghe di alluminio e magnesio con i relativi processi di rafforzamento. Infine vengono descritte le applicazioni dei vari tipi di acciai e leghe di alluminio, magnesio e rame fornendo le modalità di scelta dei materiali metallici in base alla geometria del progetto ed alle sollecitazioni in opera.

REQUISITI

Chimica, Tecnologia dei materiali e chimica applicata, Scienza delle costruzioni.

PROGRAMMA

Presentazione del corso: argomenti trattati, impegno orario, difficoltà della materia, modalità d'esame. [1 ora]

Il legame metallico: caratteristiche del legame ed influenza sulle proprietà dei metalli. Proprietà elettriche e magnetiche. [1 ora]

I tipi di reticoli fondamentali: costruzione di strutture cubiche ed esagonali, relazioni di simmetria nei vari reticoli, indicizzazione delle direzioni e dei piani cristallografici con relativi esempi, piani e direzioni a maggiore impaccamento. [3 ore]

Le fasi metalliche: lacune ottaedriche e tetraedriche, soluzioni solide interstiziali, soluzioni solide sostituzionali, soluzioni solide ordinate, trasformazioni ordine - disordine, fasi di Hume-Rothary, Laves e semimetalliche, carburi, fasi intermedie. Cenni di roentgenografia con calcolo degli spettrogrammi. [4 ore]

Defetti di punto, linea e volume: vacanze, divacanze e autointerstiziali. Dislocazioni: calcolo per la resistenza teorica di un monocristallo, tipi di dislocazioni, reticoli e circuiti, vettore di Burgers, meccanismi di formazione e nucleazione delle dislocazioni, *climb* di dislocazioni, sforzo di taglio critico risolto, i sistemi di scorrimento, l'incrudimento, parte plastica della prova di trazione, condizioni di allungamento a carico massimo, prova di trazione per materiali a reticolo cubico corpo e facce centrato con eventuale prova pratica, slittamento deviato, dislocazioni parziali di Shockley, energia dei difetti di impilamento, intersezione di dislocazioni, campo di tensioni associato ad una dislocazione, energia delle dislocazioni, interazione tra dislocazioni. [6 ore]

Invecchiamento degli acciai: atmosfere di Cottrell, acciai calmati ed effervescenti, influenza sull'invecchiamento. [2 ore]

Frattura dei materiali metallici: frattura duttile su monocristallo e su policristallo, influenza delle particelle e della matrice, frattura fragile, nucleazione e propagazione

delle cricche, fattori influenzanti la frattura fragile, rottura per fatica, la prova di resilienza e di determinazione del K_{Ic} e del J_{Ic} con loro significato. [3 ore]

Meccanismi di rafforzamento delle leghe: incrudimento, affinamento del grano, soluzione solida, precipitazione di seconda fase. [2 ore]

Acciai: da profondo stampaggio, proprietà e metodi di fabbricazione, prove pratiche di imbutibilità, acciai altoresistenziali, acciai bainitici, acciai a medio alto tenore di carbonio. [2 ore]

Trattamenti termici: *recovery* e ricristallizzazione, crescita dei grani, ricottura dei lingotti, ricottura completa e di globulizzazione, processi di ricottura, normalizzazione, trasformazioni allo stato solido attivate termicamente, trasformazione eutettoidica, parametri influenzanti la distanza tra le lamelle, trasformazione martensitica con relativi meccanismi, trasformazione bainitica, rinvenimento degli acciai al carbonio e legati, fragilità di rinvenimento, diagrammi TTT e CCT per acciai al carbonio e legati. [6 ore]

Temprabilità: tensioni da tempra, curve ad *U*, mezzi raffreddanti, caratteristiche e difetti, diametro critico di barrotti temprati, diametro critico reale ed ideale, curve Jominy, determinazione sperimentale e teorica, diagrammi di Gerber e Wyss. [3 ore]

Gli acciai: acciai da bonifica, caratteristiche e proprietà, gli acciai da bonifica dell'unificazione italiana, gli acciai per utensili per lavorazioni a freddo e a caldo, acciai rapidi e trattamenti termici, acciai al Ni, acciai per impieghi a basse temperature, leghe Fe-Ni, acciai *maraging*, acciai al Mn, Hadfield, acciai automatici, acciai al Si, per molle, valvole e lamierini di trasformatori, acciai per cuscinetti, acciai per impieghi ad alte temperature, superleghe, acciai inossidabili martensitici, ferritici e austenitici. [8 ore]

Trattamenti superficiali: tempra superficiale, le atmosfere controllate, trattamenti di cementazione e di nitrurazione. [3 ore]

Ghise: ghise grigie, inoculazione, ghise bianche e per malleabilizzazione, ghise sferoidali. [2 ore]

Leghe di alluminio: classificazione delle leghe, processi di invecchiamento, leghe da trattamento termico, leghe da getto; cenni sulle leghe del Mg. [2 ore]

Leghe di rame: rame per impieghi elettrici, ottoni, bronzi; cenni sulle leghe del Ti. [2 ore]

ESERCITAZIONI

Prova di trazione.

Prova di durezza.

Prova di resilienza.

Valutazione temprabilità acciai.

Metodologie metallografiche.

BIBLIOGRAFIA

Teste di riferimento:

A. Burdese, *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET Torino.

Testi ausiliari:

Qualsiasi testo di metallurgia fisica.

P5640 Tecnologia meccanica

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

Docente: Rosolino Ippolito

REQUISITI

Il corso è strettamente collegato con i corsi di *Disegno tecnico industriale*, *Disegno di macchine + Tecnologia meccanica e Tecnologia dei materiali metallici*. Essenziale è infatti la lettura del disegno e la conoscenza delle principali lavorazioni meccaniche con le relative macchine utensili. È inoltre richiesta la conoscenza di alcuni degli argomenti trattati nei corsi di *Meccanica applicata* (trasmissione del moto, attrito di strisciamento e di rotolamento, ruote dentate, vibrazioni di sistemi a più gradi di libertà) e di *Scienza delle costruzioni* (teoria delle travi, cerchi di Mohr, teorie di Tresca e Von Mises).

PROGRAMMA

1. Processi di fabbricazione per fusione. [8 ore]

Si illustrano gli elementi generali delle tecnologie di fonderia e i diversi metodi di formatura, sia in forma transitoria che in forma permanente. Gli argomenti trattati sono la solidificazione dei metalli (ritiro, materozza, dimensionamento del modello), le fusioni in forma transitoria (in terra, *cold box*, *shell molding*, microfusione), le fusioni in forma permanente (in conchiglia a gravità e sotto pressione, pressofusione, fusione centrifuga).

2. Lavorazioni per deformazione plastica. [16 ore]

Dopo aver illustrato il comportamento dei materiali metallici in campo plastico, si introducono i concetti elementari della teoria della plasticità, attraverso l'uso delle ipotesi di Tresca e Von Mises. Si procede poi a illustrare le varie tecnologie di lavorazione dei metalli per deformazione plastica e per ciascuna di esse si forniscono formule semplificate per il calcolo delle grandezze principali in gioco: laminazione, estrusione, trafilatura, stampaggio, lavorazioni delle lamiere (piegatura, calandratura, imbutitura, tranciatura).

3. Attrezzature di bloccaggio. [8 ore]

Vengono fornite le nozioni fondamentali relative alla progettazione delle attrezzature di bloccaggio utilizzate per la lavorazione dei particolari sulle diverse macchine utensili.

4. Aspetti economici delle lavorazioni meccaniche. [6 ore]

Sono spiegati i criteri seguiti per l'ottimizzazione dei dati tecnologici nelle lavorazioni con asportazione di truciolo e il metodo impiegato per la scelta tra cicli in alternativa.

5. Macchine utensili a controllo numerico. [26 ore]

Il controllo numerico rappresenta oggi la tecnica fondamentale seguita per l'automazione delle macchine utensili. Le lezioni forniscono un quadro generale di tale tecnologia, sia con riferimento agli aspetti *hardware* che agli aspetti *software*. Generalità sul controllo numerico. Struttura e componentistica meccanica: comportamento dinamico della MIJ, guide, mandrini, servomotori elettrici ed idraulici, trasduttori, dispositivi di cambio utensili. Unità di governo ed interpolatore. Tipologie delle macchine a CN: macchine di tipo *stand alone*, celle di lavorazione, linee flessibili (FMS).

6. La saldatura. [6 ore]

Viene dato un breve cenno sulle diverse metodologie di saldatura e sui problemi connessi con l'uso di tale tecnica di assemblaggio. Saldatura autogena ossiacetilenica. Saldatura autogena ad arco: con elettrodo rivestito, TIG, MIG, MAG, ad arco som-

merso. Saldatura autogena elettrica per resistenza. Saldatura eterogenea: brasatura e saldo-brasatura. Difettologia dei giunti saldati.

7. *Processi chimico-fisici di lavorazione.* [8 ore]

L'ultima parte del corso è dedicata ad una breve carrellata sui processi non convenzionali di lavorazione, alcuni dei quali peraltro sono divenuti di largo impiego in alcuni settori dell'industria meccanica tradizionale mentre altri rimangono confinati in settori specialistici. Più diffusamente vengono illustrati l'elettroerosione (EDM) e il laser.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vengono sviluppate per metà in aula e per metà in laboratorio. Le esercitazioni in aula sono dedicate ai cicli di fabbricazione e allo svolgimento di esercizi di calcolo. Le esercitazioni di laboratorio invece sono dedicate alla programmazione delle macchine a CN e al rilievo di parametri tecnologici con l'uso di sistemi di acquisizione dati.

Le esercitazioni di laboratorio vengono sviluppate con l'aiuto di studenti coadiutori e sotto la guida di un ricercatore. Il programma dettagliato delle esercitazioni è fornito ogni anno all'inizio del corso in funzione delle disponibilità del laboratorio.

Al termine di ciascuna esercitazione lo studente è tenuto a redigere una breve relazione scritta in buon italiano e corredata da schizzi e/o disegni eseguiti con cura. È raccomandato l'uso di appositi programmi di WP e di CAD.

BIBLIOGRAFIA

Teoria ed aspetti generali:

F. Giusti, M. Santochi, *Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione*, Ed. Ambrosiana, Milano.

S. Kalpakjian, *Manufacturing engineering and technology*, Addison-Wesley.

Macchine utensili:

A. Secciani, G. Villani, *Produzione metalmeccanica. Vol. 2*, Cappelli, Bologna.

ESAME

La prova finale si articola in due parti: una scritta ed una orale. La prova scritta comprende argomenti di teoria, esercizi di calcolo, lo sviluppo di un semplice ciclo di fabbricazione e/o di un ciclo di lavorazione su macchina a CN. Il raggiungimento di una valutazione sufficiente su tale parte è essenziale al fine del superamento dell'esame. La prova orale inizia con la discussione dell'elaborato e prosegue con un colloquio che può toccare argomenti dell'intero programma del corso.

P3111 **Macchine 1**

Anno/periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); ++10 (nell'intero periodo)

Docente: Andrea Emilio Catania (collab.: Ezio Spessa)

Il corso tratta essenzialmente la problematica delle turbomacchine e delle macchine volumetriche nonché, più in generale, dei sistemi energetici in cui esse sono inserite, con particolare riferimento agli impianti motori a vapore, agli impianti a ciclo combinato gas-vapore, ai compressori di gas e ai sistemi idraulici per la produzione e trasmissione di energia.

Il corso parte sia dai principi di termodinamica applicata, esaminata dal punto di vista che più interessa nello studio delle macchine a fluido, sia dai concetti fondamentali della meccanica dei fluidi e delle sue applicazioni alle turbomacchine. Oltre ai mezzi

che consentono le opportune scelte e calcolazioni richieste all'utilizzatore, il corso intende anche fornire le nozioni di base per la progettazione termofluidodinamica delle macchine e per approfondire settori più specialistici, quali, ad esempio, tenute a labirinto, valvole, modelli dinamici, regolazione, ecc.

REQUISITI. *Fisica tecnica, Meccanica dei fluidi, Meccanica applicata alle macchine.*

PROGRAMMA

1. *Fonti energetiche, principi di termodinamica-energetica e di fluidodinamica*

Classificazione delle principali fonti energetiche. Fonti energetiche rinnovabili o meno; impatto ambientale. Principio di conservazione dell'energia. Trasformazioni e cicli termodinamici. Principio di evoluzione dell'energia. Bilancio energetico ed exergetico. Equazioni integrali del moto dei fluidi: leggi di conservazione della massa, della quantità di moto, del momento della quantità di moto e dell'energia.

2. *Introduzione alle turbomacchine*

Generalità e classificazioni: turbomacchine assiali, radiali e miste. Applicazione alle turbomacchine delle leggi fondamentali della termodinamica energetica e della fluidodinamica. Analisi unidimensionale e triangoli delle velocità.

3. *Ugelli e diffusori*

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

4. *Schemi di impianti, cicli termodinamici, problemi fondamentali negli impianti di turbine a vapore e a ciclo combinato gas-vapore*

Rendimenti e consumi specifici negli impianti motori termici. Ciclo di Rankine-Hirn e mezzi per aumentarne il rendimento. Scambiatori di calore a superficie e a miscela; degasatori. Impianti a cicli sovrapposti. Ricupero e potenziamento di impianti. Impianti a cogenerazione e a ciclo combinato gas-vapore. Accumulatori di vapore. Impianti geotermoelettrici e nucleotermoelettrici.

5. *Turbomacchine motrici e turbine a vapore*

Perdite fluidodinamiche nelle turbomacchine. Rendimento interno di uno stadio di turbina e di una turbina multipla. Profili delle pale nelle turbomacchine. Valutazione dei parametri di flusso unidimensionale nelle turbomacchine. Analisi unidimensionale del flusso in uno stadio di turbina. Grado di reazione. Analisi pluridimensionale del flusso in uno stadio di turbina. Teoria dell'equilibrio radiale e svergolamento a vortice libero di una palettatura. Turbina assiale semplice ad azione ed a salti di velocità. Turbina assiale a salti di pressione. Turbina assiale a reazione. Criteri di progetto ed ottimizzazione del rendimento nelle turbine assiali. Turbine navali. Organizzazione delle turbine a vapore multiple. Sollecitazioni delle palettature di turbine assiali. Calcolo ed equilibramento della spinta assiale sul rotore di una turbina. Mezzi di tenuta nelle turbomacchine: tenute a labirinto. Calcolo dell'efflusso subcritico e critico da tenute a labirinto assiali. Organizzazione delle tenute a labirinto. Turbine radiali monostadio e multistadio. Turbine radiali birotative.

6. *Funzionamento di una turbina in condizioni diverse da quelle di progetto*

Analisi delle prestazioni "fuori progetto" di una palettatura di turbina. Postespansione. Parametri adimensionati del flusso in una turbomacchina. Similitudine fluidodinamica.

Rappresentazione del campo di prestazioni di una turbina e cono dei consumi. Calcolo approssimato delle prestazioni di una turbina "fuori progetto". Caratteristica meccanica di una turbina. Coppia allo spunto e velocità di fuga.

7. *Regolazione delle turbine a vapore e condensatori di vapore*

Criteri di utilizzazione e regolazione degli impianti a vapore. Regolazione di una turbina per laminazione, per parzializzazione, per sorpasso lato vapore e lato acqua. Regolazione in ciclo combinato. Campo di regolazione di turbine a contropressione e ad estrazione. Criteri di proporzionamento delle valvole negli impianti a vapore. Problemi funzionali nella regolazione delle turbine a vapore.

Condensatori di vapore a superficie e a miscela. Dimensionamento dei tubi e scelta dei materiali nei condensatori a superficie. Condensatori ad aria. Condensatori tipo Heller.

8. *Compressori di gas*

Classificazione, aspetti costruttivi e principi di funzionamento di turbocompressori di gas e ventilatori. Calcolo delle prestazioni nei turbocompressori. Parametri adimensionati di funzionamento nei turbocompressori. Compressione inter-refrigerata. Caratteristica manometrica di ventilatori e turbocompressori di gas radiali. Punto di funzionamento, pompaggio e stallo di un turbocompressore. Criteri di scelta di un compressore: fattore di carico. Dimensionamento di massima di un turbocompressore centrifugo. Turbocompressori assiali. Regolazione dei turbocompressori.

Generalità sui compressori volumetrici. Compressore alternativo monostadio a semplice effetto. Scambi termici con le pareti, temperatura di mandata, distribuzione nei compressori alternativi. Compressori alternativi pluristadio. Regolazione dei compressori alternativi monostadio. Compressori rotativi a palette. Compressori rotativi Roots. Regolazione dei compressori rotativi.

9. *Macchine idrauliche*

Generalità, potenza e rendimenti delle turbine idrauliche. Parametri di similitudine e caratteristiche di funzionamento. Numero di giri specifico e caratteristico. Turbine Pelton, Francis, ad elica e Kaplan. Regolazione delle turbine idrauliche.

Generalità, potenza e rendimenti delle turbopompe. Parametri di similitudine e caratteristiche di funzionamento. Turbopompe centrifughe, assiali e miste. Regolazione delle turbopompe. Problemi di avviamento ed installazione. Cavitazione. Pompe e motori volumetrici idraulici.

10. *Trasmissioni idrauliche*

Principi di funzionamento delle trasmissioni idrostatiche ed idrodinamiche. Alcuni esempi di trasmissioni idrostatiche. Giunti idrodinamici: prestazioni e curve caratteristiche. Campo di applicazione dei giunti idrodinamici. Convertitori idrodinamici di coppia: prestazioni e curve caratteristiche. Campo di applicazione dei convertitori idrodinamici di coppia.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula consistono nello svolgimento di esercizi e problemi applicativi dei concetti sviluppati a lezione ed hanno lo scopo sia di fornire gli ordini di grandezza dei vari parametri, sia di migliorare il grado di approfondimento. Argomenti delle esercitazioni:

Proprietà termodinamiche dei fluidi, trasformazioni dei gas perfetti e diagrammi termodinamici. Applicazioni del primo e del secondo principio della termodinamica. Ugelli e diffusori. Impianti a vapore. Accumulatori di vapore. Turbine a vapore assiali. Turbine a vapore radiali. Calcolo dell'efflusso subcritico e critico da tenute a labirinto. Funzionamento "fuori progetto" delle turbine. Regolazione impianti a vapore. Condensatori. Turbocompressori centrifughi. Turbocompressori assiali.

Regolazione dei turbocompressori. Compressori volumetrici a stantuffo e loro regolazione. Compressori volumetrici rotativi a palette e Roots e loro regolazione. Turbine idrauliche Pelton, Francis e Kaplan. Turbopompe. Cavitazione nelle macchine idrauliche. Trasmissioni idrostatiche. Giunti idrodinamici. Convertitori idraulici di coppia.

LABORATORIO

Viaggio istruzione. È prevista la visita allo stabilimento Ansaldo di Legnano (MI); tale visita permette all'allievo di prendere visione diretta degli impianti di macchine a fluido, dei componenti, nonché dei procedimenti costruttivi di questi ultimi.

Laboratorio di macchine. Analisi di alcune macchine a fluido e strumentazione presenti nel laboratorio. Rilievo caratteristica di una pompa-turbina Kaplan. Acquisizione automatica dati sperimentali ad alta frequenza.

BIBLIOGRAFIA

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

A.E. Catania, *Turbocompressori*, (ACSV, Appunti dai Corsi Seminari di Vercelli), ed. CGVCU (Comitato per la Gestione in Vercelli dei Corsi Universitari), 1990.

A.E. Catania, *Compressori volumetrici*, (ACSV), CGVCU, 1991.

A.E. Catania, *Turbine idrauliche*, (ACSV), CGVCU, 1992.

A. Mittica, *Turbomacchine idrauliche operatrici*, (ACSV), CGVCU, 1994.

ESAME

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

Prova scritta: si svolge in tre ore e mezza. Consiste nello svolgimento di tre esercizi numerici su impianti o componenti di macchine a fluido relativi ad argomenti svolti durante il corso. L'esame incomincia quando il candidato consegna l'elaborato al termine della prova scritta.

Prova orale: consiste in una possibile discussione della prova scritta e nel rispondere a domande su due-tre argomenti di teoria trattati a lezione. Il voto di esame è determinato in base al risultato delle due prove sostenute.

P3110 Macchine

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); +10 (nell'intero periodo)

Docente: Andrea Emilio Catania (collab.: Claudio Dongiovanni, Ezio Spessa)

Il corso mira a fornire i fondamenti delle macchine a fluido, analizzando gli aspetti costruttivi, i principi di funzionamento e le prestazioni al di fuori delle condizioni di progetto delle singole macchine, oltre ai cicli termodinamici degli impianti in cui esse sono inserite. Applicando sistematicamente ai vari sistemi energetici ed ai loro componenti i principi della termodinamica e della meccanica dei fluidi, il corso presenta quegli aspetti formativi necessari sia per consentire la scelta di una macchina a fluido e di una soluzione impiantistica in relazione alla rispettiva utilizzazione, sia per affrontare alcuni aspetti progettativi integrando le nozioni acquisite con ulteriori approfondimenti in settori più specifici.

REQUISITI. *Fisica tecnica, Meccanica dei fluidi, Meccanica applicata alle macchine.*

PROGRAMMA

1. Principi di termodinamica e fluidodinamica applicate

Principio di conservazione dell'energia. Principio di evoluzione dell'energia. Trasformazioni e cicli termodinamici.

Equazioni integrali del moto dei fluidi. Applicazione alle turbomacchine. Triangoli delle velocità.

2. Ugelli e diffusori

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

3. Schemi di impianti, cicli termodinamici, problemi fondamentali negli impianti di turbine a vapore e a ciclo combinato.

Rendimenti e consumi specifici negli impianti motori termici. Ciclo di Rankine-Hirn reale e mezzi per aumentarne il rendimento. Ciclo Joule reale. Impianti a cogenerazione e a ciclo combinato gas-vapore.

4. Turbomacchine motrici e turbine a vapore

Profili delle pale e perdite fluidodinamiche nelle turbomacchine. Rendimento di uno stadio di turbina e di una turbina multipla. Analisi unidimensionale del flusso in uno stadio di turbina. Teoria dell'equilibrio radiale e svergolamento a vortice libero di una palettatura. Turbina assiale semplice ad azione ed a salti di velocità. Turbine assiali a salti di pressione e a reazione. Turbine radiali. Organizzazione delle turbine a vapore multiple. Calcolo ed equilibramento della spinta assiale sul rotore di una turbina. Mezzi di tenuta e calcolo di una tenuta a labirinto longitudinale.

5. Funzionamento di una turbina in condizioni diverse da quelle di progetto e regolazione delle turbine a vapore.

Funzionamento "fuori progetto" di una palettatura di turbina. Similitudine fluidodinamica. Campo di prestazioni di una turbina e cono dei consumi. Caratteristica meccanica di una turbina. Coppia allo spunto e velocità di fuga.

Regolazione di una turbina a vapore per laminazione, parzializzazione, sorpasso lato vapore e lato acqua. Campo di regolazione di impianti a cogenerazione. Problemi funzionali nella regolazione delle turbine a vapore.

6. Condensatori di vapore

Condensatori di vapore e a miscela, e loro prestazioni anche "fuori progetto".

7. Compressori di gas: turbocompressori e compressori volumetrici

Costituzione e principi di funzionamento dei turbocompressori di gas e ventilatori. Calcolo delle prestazioni e caratteristica manometrica di ventilatori e turbocompressori radiali e assiali. Punto di funzionamento, pompaggio e stallo di un turbocompressore. Fattore di carico e scelta del tipo di compressore. Regolazione dei turbocompressori. Compressore alternativo monostadio a semplice effetto. Scambi termici con le pareti, temperatura di mandata, distribuzione nei compressori alternativi. Regolazione dei compressori alternativi monostadio. Compressori rotativi e loro regolazione.

8. Turbomacchine idrauliche

Parametri di similitudine e caratteristiche di funzionamento di turbine e turbopompe. Turbine Pelton, Francis, ad elica e Kaplan.

Turbopompe centrifughe, assiali e miste. Regolazione delle turbomacchine idrauliche. Problemi di avviamento, installazione. Cavitazione.

9. Motori alternativi a combustione interna

Generalità e classificazioni. Cicli ideali. Rendimento ideale e limite. Caratteri costruttivi dei motori alternativi a combustione interna. Diagramma della distribuzione. Espressioni della potenza utile. Pressione media indicata e pressione media effettiva. Analisi dei rendimenti ideale, limite, termodinamico interno e organico. Ciclo di lavoro indicato. Coefficiente di riempimento nei motori a due e a quattro tempi. Influenza delle condizioni ambiente sulle prestazioni. Caratteristica meccanica e regolazione dei motori ad accensione comandata. Combustione a volume costante. Sovralimentazione nei motori a combustione interna. Parametri di progetto di motori a combustione interna. Anomalie di combustione, numero di ottano. Combustione e gasdinamica nei motori Diesel. Numero di cetano. Apparatì di iniezione. Emissioni inquinanti da motori a combustione interna.

10. Turbine a gas

Impianti a ciclo Joule: rendimento e lavoro massico dei cicli ideale, limite e reale. Dipendenza del rendimento del ciclo reale dai vari parametri di funzionamento. Compressione interrefrigerata, ricombustione e rigenerazione. Cicli rigenerativi con interrefrigerazione e/o ricombustione. Caratteristiche costruttive delle turbine a gas. Combustori e combustione a pressione costante. Regolazione di turbine a gas monoalbero e bialbero.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula consistono nello svolgimento di esercizi e problemi applicativi dei concetti sviluppati a lezione ed hanno lo scopo sia di fornire gli ordini di grandezza dei vari parametri, sia di migliorare il grado di approfondimento. Argomenti delle esercitazioni:

Proprietà termodinamiche dei fluidi, trasformazioni dei gas perfetti e diagrammi termodinamici. Applicazioni del primo e del secondo principio della termodinamica. Ugelli e diffusori. Impianti e turbine a vapore. Funzionamento "fuori progetto" delle turbine a vapore e loro regolazione. Condensatori di vapore. Turbocompressori, compressori volumetrici e loro regolazione. Turbine idrauliche. Turbopompe e cavitazione. Calcolo delle prestazioni di motori alternativi a combustione interna. Regolazione dei motori alternativi a combustione interna. Alimentazione e sovralimentazione di motori alternativi. Impianti di turbine a gas. Regolazione delle turbine a gas.

LABORATORIO

Viaggio istruzione. È prevista la visita allo stabilimento Ansaldo di Legnano (MI); tale visita permette all'allievo di prendere visione diretta degli impianti di macchine a fluido, dei componenti, nonché dei procedimenti costruttivi di questi ultimi.

Laboratorio di macchine. Analisi di alcune macchine a fluido e strumentazione presenti nel laboratorio. Rilievo caratteristica di una pompa-turbina Kaplan. Rilievo caratteristica meccanica di un motore alternativo ad accensione comandata.

BIBLIOGRAFIA

- A.E. Catania, *Complementi di Macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1979.
 A.E. Catania, *Turbocompressori*, (ACSV, Appunti dai Corsi Seminari di Vercelli), ed. CGVCU (Comitato per la Gestione in Vercelli dei Corsi Universitari), 1990.
 A.E. Catania, *Compressori volumetrici*, (ACSV), CGVCU, 1991.
 A.E. Catania, *Turbine idrauliche*, (ACSV), CGVCU, 1992.
 A. Capetti, *Motori termici*, UTET, Torino, 1967.
 A. Mittica, *Turbomacchine idrauliche operatrici*, (ACSV), CGVCU, 1994.

ESAME

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

Prova scritta: si svolge in tre ore e mezza. Consiste nello svolgimento di tre esercizi numerici su impianti o componenti di macchine a fluido relativi ad argomenti svolti durante il corso. L'esame incomincia quando il candidato consegna l'elaborato al termine della prova scritta.

Prova orale: consiste in una possibile discussione della prova scritta e nel rispondere a domande su due-tre argomenti di teoria trattati a lezione.

Il voto di esame è determinato in base al risultato delle due prove sostenute.

P0940 Costruzione di macchine

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 74+46 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Graziano Curti (collab.: Cristina Bignardi, Francesca Curà)

Il corso ha l'obiettivo di riprendere e approfondire gli argomenti della scienza delle costruzioni, con particolare riferimento a quelli che costituiscono il fondamento della progettazione delle macchine e dei loro componenti. In esso vengono presentati gli elementi tipici che influenzano il comportamento e la resistenza degli organi delle macchine come l'effetto d'intaglio, la fatica, lo scorrimento a caldo e lo smorzamento interno dei materiali. Di questi elementi vengono forniti i dati caratteristici (metodi, formule, diagrammi) che ne consentono l'applicazione pratica.

Vengono inoltre descritti e illustrati i principali organi delle macchine e i mezzi di collegamento e di accoppiamento. Il corso si propone in definitiva di fornire agli allievi le metodologie della progettazione delle macchine e dei relativi organi.

REQUISITI. *Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine.*

PROGRAMMA

Introduzione. Presentazione. Argomenti e finalità. Lezioni, esercitazioni, esami: modalità e regole. [2 ore]

Ruote dentate. Ingranaggi. Caratteristiche geometriche, cinematiche, di taglio e di resistenza. [14 ore]

Cuscinetti. Tipi. Montaggio. [4 ore]

Ipotesi di rottura. Tensioni equivalenti. [4 ore]

La fatica dei materiali: descrizione, caratteristiche, diagrammi. Meccanica della frattura. [10 ore]

Effetto d'intaglio: definizione, diagrammi, dati numerici. [6 ore]

Smorzamento interno dei materiali. [2 ore]

Scorrimento a caldo dei materiali. [2 ore]

Molle. Tipi. Calcoli. Applicazioni. [16 ore]

Giunti. Innesti. [6 ore]

Teoria di Hertz, formule finali e applicazioni. [8 ore]

ESERCITAZIONI

Nell'ambito del corso verranno svolte due esercitazioni che, per l'ottenimento della firma di frequenza, dovranno essere verificate dagli assistenti o dai coadiutori entro la fine delle lezioni. La prima esercitazione consiste nella progettazione del gruppo epicicloidale per il comando di un argano di sollevamento e comprende: i calcoli di dimensionamento e/o verifica di alcuni elementi del gruppo, il disegno complessivo e

un disegno particolare da definirsi. La seconda esercitazione consiste nel calcolo di un ingranaggio con ruote a profili spostati.

1. *Progetto di un gruppo epicicloidale per comando di un argano di sollevamento*

Modalità di svolgimento delle esercitazioni. Distribuzione e descrizione del materiale didattico Spiegazione dello schema e del disegno costruttivo del gruppo epicicloidale.

[2 ore]

Calcolo dei rapporti di trasmissione. Calcolo dei numeri di denti. [4 ore]

Dimensionamento degli organi di sollevamento. Scelta dei motori. Scelta del riduttore commerciale. Specifiche personalizzate del progetto. [4 ore]

Scelta e verifica dei giunti Arpex. Calcolo delle forze e dei momenti scambiati fra gli ingranaggi del gruppo epicicloidale. Cenni sulle ruote cilindriche elicoidali e calcolo delle forze scambiate in un ingranaggio elicoidale. [4 ore]

Calcolo delle reazioni sui cuscinetti. Scelta dei cuscinetti. Verifica statica e dinamica. [6 ore]

Dimensionamento degli ingranaggi a flessione e a usura. [6 ore]

Calcolo a fatica di un albero del gruppo. Cenni sulla quotatura del disegno particolare di un albero del gruppo. [6 ore]

Calcolo del collegamento fra ruota dentata e albero. Calcolo di una giunzione bullonata. [4 ore]

Dimensionamento del freno a disco di uno dei due motori. Dimensionamento della molla. [4 ore]

2. *Calcolo di un ingranaggio con ruote a profili spostati.*

Spiegazione dell'esercitazione. [6 ore]

BIBLIOGRAFIA

R. Giovannozzi. *Costruzione di macchine*, Pàtron, Bologna.

G. Bongiovanni, G. Roccati, *Giunti fissi, articolati, elastici e di sicurezza*, Levrotto & Bella, Torino, 1986.

G. Bongiovanni, G. Roccati, *Giunti articolati per la trasmissione tra alberi mobili*, Levrotto & Bella, Torino, 1984.

G. Bongiovanni, G. Roccati, *Innesti a denti, ad attrito, automatici e di sopravanzo*, Levrotto & Bella, Torino, 1987.

G. Bongiovanni, G. Roccati, *Freni*, Levrotto & Bella, 1990.

G. Bongiovanni, G. Roccati, *Sinossi di lezioni su ruote dentate e contatti hertziani*, Levrotto & Bella, Torino, 1994.

P3112 Macchine 2

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

Docente: Enrico Antonelli (collab.: Federico Millo)

Il corso intende fornire le nozioni fondamentali sui motori a combustione interna volumetrici (alternativi e rotativi) e sui motori a flusso continuo (turbine a gas), sia a combustione interna che a combustione esterna; esso si compone di una parte più propriamente descrittiva, avente lo scopo di fornire una conoscenza generale della costituzione dei predetti motori, e di un'altra parte, a carattere formativo, necessaria a costituire la base per la loro progettazione termica e fluidodinamica e a permetterne la scelta in relazione all'impiego cui sono destinati.

REQUISITI. Sono propedeutiche nozioni acquisite nei corsi di *Macchine 1* e di *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*, oltreché *Fisica tecnica* e *Meccanica applicata alle macchine*.

PROGRAMMA

Richiami di nozioni fondamentali. [14 ore]

Nozioni-base di termodinamica dei mezzi continui: relazioni termiche e relazioni meccaniche; parametri di stato (esterni e interni, fisici e chimici); equazioni di stato; leggi di conservazione e leggi di evoluzione dal punto di vista sostanziale e dal punto di vista locale, confronto fra lavoro esterno e lavoro tecnico. Proprietà dei diagrammi p,v e T,S in termini di curve e in termini di aree. Equazioni di combustione adiabatica, e con scambio di calore con le pareti senza e con dissociazione. Teorema dell'energia utilizzabile.

Generalità sui motori volumetrici. [8 ore]

Classificazione dei motori volumetrici. Quadro dei rendimenti termici, termofluidodinamici e meccanici. Consumi specifici di calore e di combustibile. Espressione della potenza e della pressione media effettiva per i diversi tipi di motori volumetrici a combustione interna. Considerazioni sul parametro energetico dei combustibili utilizzabili. Quadro sinottico delle influenze esercitate sulle prestazioni dei motori alternativi a c.i. Criteri generali di impiego dei motori alternativi a 2 e a 4 tempi, ad accensione comandata e ad accensione per compressione. Valori attuali dei principali parametri caratterizzanti le prestazioni dei motori. Impostazione del progetto di massima di un motore alternativo a combustione interna: determinazione delle principali caratteristiche del motore.

Descrizione dei motori alternativi a combustione interna. [4 ore]

Costituzione, funzionamento reale, e particolarità costruttive dei motori alternativi ad accensione comandata, a 4 e a 2 tempi, veloci e leggeri.

Costituzione, funzionamento reale, e particolarità costruttive dei motori alternativi ad accensione per compressione, a 4 e a 2 tempi, sia veloci e leggeri, sia lenti e pesanti.

Analisi dei rendimenti dei motori alternativi a c.i. [8 ore]

Criteri di scelta del ciclo ideale per motori alternativi a combustione interna. Rendimenti termici dei cicli ideali. Rendimenti termici dei cicli ad aria reale. Rendimenti termici dei cicli ad aria e combustibile. Dipendenza del rendimento termico limite dalla dosatura. Il rendimento termodinamico interno: influenza dell'imperfezione della combustione, degli scambi termici con le pareti, delle perdite per fughe, delle laminazioni nel ricambio del fluido - motore. Il rendimento organico: influenza dei lavori d'attrito e del lavoro richiesto dagli accessori. Dipendenza del rendimento organico dalla velocità di rotazione, dalla pressione media indicata e dalla potenza utile.

Il riempimento dei motori alternativi a 4 e a 2 tempi. [8 ore]

Il riempimento dei motori a 4 tempi: considerazioni generali, studio generalizzato e studio semplificato; dipendenza del coefficiente di riempimento dalla velocità di rotazione, dalla velocità media dello stantuffo, dall'indice di Mach. Dimensionamento delle valvole e dei condotti. Ottimizzazione della legge di alzata delle valvole. Influenza sul riempimento del motore da parte delle pulsazioni nella corrente.

Il riempimento dei motori a 2 tempi: considerazioni generali, i tre modelli di lavaggio, calcolo del coefficiente di riempimento e del rendimento di lavaggio nei casi di "progressiva e uniforme diluizione", di "stantuffo di gas" e di "corto-circuito"; loro dipendenza dalla velocità di rotazione e dalle laminazioni all'alimentazione e allo scarico. Influenza sul riempimento del motore da parte delle pulsazioni nella corrente. Caratteristiche costruttive e di funzionamento del *carter*-pompa.

La combustione nei motori ad accensione comandata. [4 ore]

Influenza della temperatura e della dosatura sulla velocità di reazione e sulla velocità

del fronte di fiamma. Propagazione delle fiamme laminari e delle fiamme turbolente: influenza della velocità di rotazione e della velocità media dello stantuffo. La combustione in un ambiente chiuso. L'angolo di combustione e sua dipendenza dai parametri di funzionamento del motore. Influenza dell'angolo di combustione sui rendimenti e sulle pressioni medie del motore. Caratteristica di regolazione e caratteristica meccanica dei motori ad accensione comandata: soluzione attuale e proposte per un suo miglioramento.

Anomalie di combustione dei motori ad accensione comandata. [4 ore]

Modello di combustione per frazioni successive. Caratteri organolettici e motoristici della detonazione. La teoria dell'onda esplosiva e quella dell'autoaccensione dell'*end-gas*. Misure ed esperimenti sulle macchine a compressione rapida e sui reattori termici. La valutazione della resistenza alla detonazione dei carburanti in laboratorio e su strada. Anomalie di accensione. Le principali qualità richieste a un carburante. Il "grado termico" delle candele. L'apparato di accensione: cenni.

La combustione, e le sue anomalie, nei motori ad accensione per compressione. [4 ore]

Il ritardo di autoaccensione e l'accumulo di combustibile: dipendenza dalle caratteristiche di funzionamento del motore e dalle caratteristiche chimico-fisiche del combustibile. La ruvidezza di funzionamento del motore e l'accendibilità dei combustibili. Caratteristica di regolazione e caratteristica meccanica dei motori ad accensione per compressione: confronto con i motori ad accensione comandata, attuali soluzioni migliorative della caratteristica meccanica, a pieno carico e ai carichi parziali.

L'apparato di iniezione dei motori ad accensione per compressione e ad accensione comandata. [4 ore]

Esigenze dell'apparato di iniezione: fase, quantità, qualità. Schema dei principali tipi. Iniezione diretta e iniezione in precamera: necessità e prestazioni. Principali tipi di iniettori. Schema della pompa Bosch in linea e dell'American Bosch rotativa. La rottura del getto iniettato e la sua polverizzazione: dipendenza dalla velocità di iniezione, e dalla tensione superficiale e viscosità del combustibile. La penetrazione delle gocce iniettate e la loro distribuzione nella camera di combustione. Calcolo dei ritardi d'iniezione. Cenni sulla carburazione nei motori ad accensione comandata, mediante carburatore o mediante iniezione.

La sovralimentazione dei motori alternativi a combustione interna. [4 ore]

Sovralimentazione e alimentazione artificiale: generalità. La sovralimentazione dei motori a 4 tempi: pre- e post-alimentazione, e sovralimentazione di base: dipendenza delle prestazioni dal tipo di comando del compressore e dal tipo di alimentazione dell'eventuale turbospansore. La sovralimentazione dei motori a 2 tempi: prestazioni e problemi particolari. La sovralimentazione in campo automobilistico: problemi particolari.

Gli impianti di turbina a gas. [8 ore]

Generalità; rendimento termico e lavoro massico del ciclo ideale e del ciclo limite, e loro dipendenza dal rapporto di compressione e dalla temperatura massima. Conglobamento dei rendimenti pneumatici nei rendimenti isentropici delle turbomacchine. Il rendimento termico globale e il lavoro massico utile, e loro dipendenza, nel caso di ciclo semplice, dal rapporto di compressione e dalla temperatura massima, oltché dai rendimenti dei singoli componenti dell'impianto. Ciclo complesso con compressione inter-refrigerata: sua convenienza nel caso ideale e nel caso reale. Ciclo complesso con espansione interrotta da ricombustione: sua convenienza nel caso ideale e nel caso reale. Cicli rigenerativi ideali con efficacia della rigenerazione unitaria e con efficacia parziale. Cicli rigenerativi reali con diversa efficacia della rigenerazione: loro presta-

zioni al variare del rapporto di compressione. Cicli rigenerativi complessi: la nozione di efficacia minima della rigenerazione.

Descrizione degli impianti di turbina a gas. [2 ore]

L'impianto di turbina a gas: generalità e disposizione meccanica delle diverse turbomacchine. Il combustore: costituzione e caratteristiche di funzionamento. La refrigerazione delle palette del turboespansore: soluzioni costruttive e prestazioni corrispondenti.

Prestazioni degli impianti di turbina a gas fuori dalle condizioni di progetto. [4 ore]

Caratteristica di regolazione di un impianto monoalbero semplice, di un impianto monoalbero con laminazione all'aspirazione, di un impianto bialbero con turbina di potenza sulla bassa pressione, o sulla alta pressione, o in parallelo. Caratteristica di regolazione di un impianto a ciclo chiuso mediante variazione della massa di gas contenuta nell'impianto stesso.

Caratteristica meccanica di un impianto monoalbero semplice e di un impianto bialbero con turbina di potenza sulla bassa pressione. Altre soluzioni realizzate.

Cenni sui motori a reazione. [2 ore]

Generalità: spinta, impulso specifico, rendimento propulsivo, consumo specifico della spinta.

Turboreattori: generalità, la pratica del doppio flusso. Autoreattori, endoreattori, pulso-reattori.

ESERCITAZIONI

Nel corso delle esercitazioni in aula, oltre alla soluzione di alcuni esercizi numerici su argomenti svolti a lezione, vengono trattati argomenti di carattere descrittivo (1., 3., 4. e 6. eserc.) e vengono svolte esercitazioni di calcolo (2. e 5. eserc.), come di seguito specificato.

1. esercitazione. [6 ore]

Descrizione dei principali componenti di un motore alternativo a 4 tempi ad accensione comandata per trazione automobilistica.

Riproporzionamento di massima dell'apparato d'aspirazione di un motore alternativo a 4 tempi.

2. esercitazione. [12 ore]

Dimensionamento di massima del volano di un motore alternativo a 4 tempi ad accensione comandata per trazione automobilistica.

Calcolo del ciclo Otto convenzionale.

Calcolo della p.m.i., delle pressioni efficaci e delle pressioni tangenziali.

Calcolo del lavoro motore e del lavoro resistente (motore monocilindrico e pluricilindrico).

Calcolo del volano e della velocità angolare (motore monocilindrico e pluricilindrico).

3. esercitazione. [8 ore]

Misure di potenza.

Apparecchiature per il rilievo della potenza: freni dinamometrici tarati e a reazione (meccanici, idraulici, elettrici); cenni su torsionometri e celle di carico; misure di velocità angolare.

Curve caratteristiche: caratteristica meccanica, caratteristica di regolazione, cubica di utilizzazione.

Correzione di potenza per motori Otto (a carburazione e ad iniezione) e per motori Diesel.

4. esercitazione. [2 ore]

Descrizione di un motore Diesel a 2 tempi, lento, di tipo navale.

5. esercitazione. [8 ore]

Dimensionamento di massima di un impianto di turbina a gas.
 Calcolo dei punti principali del ciclo (pressioni e temperature).
 Calcolo dei lavori di compressione e di espansione.
 Calcolo delle portate di aria e di combustibile.
 Calcolo delle superfici specifiche degli scambiatori.
 Calcolo del ciclo entropico dell'impianto.

6. esercitazione. [4 ore]

Le emissioni di inquinanti: meccanismi di formazione, metodi per contenerli e dispositivi per ridurli (reattori, trappole, etc.). Limiti di legge delle emissioni e cicli di prova delle autovetture.

LABORATORIO

È obbligatoria la sola frequenza dei laboratori (6 ore, ma al 100 %). Gli studenti verranno suddivisi in squadre di 10-15 elementi; la composizione delle squadre, il calendario e gli orari dei laboratori verranno affissi con congruo anticipo nella bacheca del dipartimento di Energetica. Gli spostamenti da una squadra a un'altra sono consentiti solo se concordati preventivamente con il docente esercitatore.

1. Smontaggio e rimontaggio di un motore alternativo a 4 tempi. [2 ore]
2. Rilievo della caratteristica meccanica di un motore ad accensione comandata (Otto). [2 ore]
3. Rilievo della caratteristica di regolazione di un motore ad accensione per compressione (Diesel). [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

Non esiste un unico testo di riferimento che tratti tutti gli argomenti del corso esattamente come a lezione; è consigliabile pertanto prendere appunti, anche se la maggior parte degli argomenti sono trattati in modo adeguato nell'insieme dei due testi:

E. Antonelli, *Richiami di termodinamica applicata alle macchine* (Dispense).
 A. Capetti, *Motori termici*, UTET, Torino.

ESAME. L'esame si articola, di norma, su 3 domande riguardanti gli argomenti trattati a lezione e su 1-2 domande attinenti le esercitazioni in aula e/o in laboratorio. L'esame è in forma orale.

P3850 Oleodinamica e pneumatica

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 72+40+8 (nell'intero periodo)

Docente: Nicola Nervegna

Il corso si propone di fornire agli allievi le conoscenze di base necessarie per l'utilizzo, la scelta e la progettazione di sistemi e componenti oleodinamici e pneumatici di potenza e regolazione applicati su impianti fissi e mobili (impianti industriali, macchine utensili, veicoli). Partendo da una analisi qualitativa dei sistemi (gruppi di alimentazione e di utilizzazione) tramite l'impiego dei blocchi funzionali si giunge ad uno studio quantitativo e alla successiva conoscenza ed analisi dettagliata dei componenti.

REQUISITI. *Meccanica dei fluidi, Macchine, Controlli automatici.*

PROGRAMMA

1. Analisi funzionale dei sistemi oleodinamici. [26 ore]

Trasformazioni energetiche nei sistemi oleodinamici. Analisi qualitativa: schemi circuitali normati (ISO/UNI). Analisi quantitativa: i modelli matematici. Un traduttore oggettivo: i blocchi funzionali.

Gruppo di alimentazione a portata costante (GAQF). Analisi con i blocchi funzionali, deduzione della caratteristica portata–pressione ($Q-p$) del gruppo all'interfaccia con l'utenza. Variante al GAQF con limitatrice pilotata e distributore di "vent". Soluzioni con valvole modulari a due vie.

Gruppo di alimentazione a portata variabile per valori discreti (GAQVD). Schema a blocchi funzionali nelle varie condizioni di possibile funzionamento. Deduzione della caratteristica. Studio dei rendimenti. Pilotaggio diretto e remoto nella limitatrice di pressione. Variante al GAQVD e riflessi sul rendimento.

Gruppo di alimentazione a portata variabile per valori continui (GAQYC). Pompa a cilindrata variabile con variazione manuale della cilindrata: caratteristica ($Q-p$) in confronto con unità a portata costante.

Gruppo di alimentazione per utenza in circuito chiuso. Schema circuitale e analisi dei componenti: pompa di sovralimentazione, valvola a pendolo, livelli di taratura delle limitatrici di pressione.

Gruppo di alimentazione a pressione fissa vera (GAPFV). Pompa con limitatore assoluto di pressione.

Gruppo di alimentazione a pressione fissa approssimata (GAPFA). Caratteristica verso l'utenza e rendimenti. Schemi circuitali e analisi del funzionamento con riferimento alla valvola di esclusione. Gruppi di alimentazione con utenze multiple. Uscite indipendenti, parallele, confluenti. Circuito di base per lo studio di martinetti a semplice e doppio effetto. Analisi con blocchi funzionali. Caratteristica meccanica. Configurazioni di centro del distributore. Evoluzione del circuito per inversioni di velocità e carico e per la protezione da sovrappressioni e depressioni. Caratteristica meccanica (F, v) per carichi resistenti e trascinati. Impiego di valvole di controbilanciamento (VCB): blocchi funzionali e caratteristiche nel piano (p, F) e (v, F). Impiego di valvole overcenter (OVC): blocchi funzionali e caratteristiche nel piano (p, F) e (v, F). Analisi dinamica e problemi di ottimizzazione. Regolazione della velocità.

Circuito rigenerativo con martinetto differenziale. Il principio della rigenerazione. Schema circuitale e sua semplificazione. Studio con i blocchi funzionali e deduzione della caratteristica meccanica dell'attuatore lineare.

Collegamenti multipli tra attuatori lineari tramite valvole di controllo della direzione a 6 bocche: parallelo, *tandem*, serie. Vincoli operativi.

Analisi delle priorità: valvola di sequenza; valvola di priorità.

Circuito per martinetto differenziale con selezione automatica della fase rigenerativa. Blocchi funzionali e piani caratteristici (p, F) e (v, F). Analisi del rendimento.

I controlli direzionali compensati. Sistema di riferimento con controllo non compensato. Piano energetico e di controllabilità. Primo e secondo controllo compensato con pompa a cilindrata variabile e 8 cilindrata fissa.

La distribuzione controllata. Schema multiutenza *load-sensing* (LS) senza e con compensazione locale. Riflessioni relative alla taratura dei compensatori locali in relazione alla taratura del limitatore differenziale della pompa LS. Analisi energetiche e di controllabilità.

Circuiti per sequenze, circuiti di sincronismo. Il divisore di flusso; il martinetto dosatore.

Gruppi di utilizzazione con attuatori rotativi: motori idraulici a cilindrata fissa e variabile; dispositivi e controlli della variazione di cilindrata. Caratteristica meccanica.

Motore a cilindrata variabile con azionamento manuale e ad un verso di flusso. Caratteristica meccanica. Motore con limitatore assoluto di pressione: blocchi funzionali e caratteristica nel piano (Q, p). Collegamenti multipli per motori idraulici. Gruppi trasformatori, con elementi ad albero comune: ad una bocca ed a due bocche verso l'utenza analogia funzionale al divisore di flusso; considerazioni energetiche e blocchi funzionali. Banco prova rigenerativo: principio applicativo e blocchi funzionali.

Servosistemi: principi relativi ai servosistemi. Retroazione meccanica di posizione: idrocopiatore. Retroazione volumetrica – meccanica di posizione: idroguida; studio delle sezioni costruttive del distributore rotante e del motore/pompa orbitale. Soluzioni reattive, non reattive e *load-sensing*.

2. Fluidi utilizzati e componenti collegati. [6 ore]

Il fluido di lavoro: ideale e reale, scopi e specifiche.

Classificazione ISO: viscosità dinamica e cinematica, viscosimetri. Diagramma viscosità cinematica – temperatura. Equazione di stato linearizzata. Comprimibilità e modulo di comprimibilità. Comprimibilità equivalente del sistema contenitore – fluido – aria separata. Modulo di comprimibilità di tubo in parte sottile.

La contaminazione del fluido, insorgenza e natura del contaminante, la filtrazione: prova ISO *Multipass*, rapporto di filtrazione. Potere assoluto di filtrazione. Normativa. Il condizionamento termico del fluido. Bilancio termico e valutazione della potenza persa.

I conduttori del fluido: rigidi e flessibili. Velocità di propagazione delle piccole perturbazioni. Studio delle portate di fuga in meati laminari. Materiali e funzionamento di guarnizioni e tenute.

3. Componenti di controllo. [18 ore]

Valvole di controllo della direzione. Classificazione. Distributori a posizionamento discreto e continuo. Studio delle configurazioni di centro. Definizione di ricoprimento, matrice dei ricoprimenti, ricoprimento dinamico. Equilibramento radiale dei cassettei. Trattazione delle forze di flusso: contributo azionario e dinamico. Rendimento in pressione ed in portata di un distributore a posizionamento discreto. Distributori a potenziamento continuo, geometria, azionamento, caratteristiche.

Valvole proporzionali e servovalvole. Azionamento con manipolatore. Azionamento elettrico con il *torque-motor*. Confronto tra specifiche e prestazioni di valvole proporzionali e servovalvole. Funzionamento nella soluzione a *flapper* e a *jet pipe*. Servovalvole a più stadi. Modello matematico di distributore con cassetto a posizionamento continuo.

Valvole di controllo della pressione. Limitatrice a comando diretto. Valvola limitatrice di pressione con stadio pilota. Valvola riduttrice di pressione a comando diretto. Con-

fronto tra soluzioni dirette e pilotate.

Valvole regolatrici di portata. Strozzatore semplice, regolatori di portata a due e a tre vie. Caratteristiche stazionarie.

4. *Organi operatori e motori.* [14 ore]

Pompe volumetriche. Caratteristiche ideali, analisi della portata e della coppia istantanea. Irregolarità di portata. *Ripple* di pressione. Studio delle caratteristiche reali. Rendimento idraulico, meccanico, volumetrico. Modelli teorici e semi-empirici di rendimento: modello di Wilson. Modelli di perdita di portata e di doppia Classificazione delle pompe. Variazione della cilindrata. Compensazione dei giochi ed equilibramento radiale.

Accumulatori di fluido. Classificazione ed impiego. Dimensionamento adiabatico e isoterma con approssimazione a gas perfetto.

Motori oleodinamici. Tempo di accelerazione e gradiente di potenza. Classificazione dei motori. Caratteristiche.

Attuatori lineari. Analisi del rendimento e modello di perdita per attrito. *Stick-slip*.

5. *Analisi funzionale dei sistemi pneumatici.*

Componenti pneumatici. Oleopneumatica. [8 ore]

Gruppo di generazione a pressione costante. Cenni sui compressori. Dimensionamento del serbatoio. Separatori di condensa e lubrificatori.

Gruppi di utilizzazione pneumatici. Comandi fondamentali di martinetti e motori. Applicazioni dei pilotaggi. Calcolo delle prestazioni dei ritardi in riempimento e scarico. Richiami sulle caratteristiche degli ugelli in funzionamento critico e subcritico. Caratteristiche stazionarie di valvola riduttrice di pressione. Analisi dinamica di un martinetto con strozzatori all'ammissione e allo scarico. Analisi grafica del funzionamento stazionario. Cenni sulla risposta a variazioni di carico.

Analisi dei motori pneumatici. Studio del ciclo di lavoro e calcolo della massa d'aria per ciclo. Descrizione dei componenti reali. Reversibilità. Classificazione e caratteristiche delle regolazioni.

Schemi costruttivi di componenti pneumatici. Circuiti oleopneumatici. Principi di controllo della velocità e della posizione. Scambiatore di pressione. Moltiplicatore di pressione. Cilindro oleopneumatico. Schemi circuitali. Presse oleopneumatiche e metodi realizzativi del principio del consenso bimanuale.

ESERCITAZIONI. [40 ore]

(Cfr. il programma delle lezioni)

Normativa ISO/UNI sui simboli grafici.

Circuito oleodinamico elementare: calcolo della potenza assorbita, costruzione dei diagrammi (p,F) e (v,F).

Studio del primo circuito della centralina didattica di laboratorio.

Confronto tra attuatori collegati in serie e in parallelo.

Regolazione in velocità dei martinetti.

Effetto di moltiplicazione della pressione in un martinetto differenziale.

Studio del secondo e terzo circuito della centralina didattica.

Gruppo di alimentazione a pressione fissa approssimata: *a*) con pressostato e limitatrice di pressione, *b*) con valvola di scarico (descrizione e funzionamento).

Regolazione in velocità del motore oleodinamico.

Banco freno.

Sistemi *load-sensing* (LS): esempio di applicazione e caso del carrello elevatore.

Studio del circuito LS, risparmio energetico, controllo in velocità degli attuatori.

Descrizione e funzionamento della pompa a stantuffi radiali con controllo LS e valvola di priorità. Saturazione.

Introduzione alle trasmissioni idrostatiche (TI). Confronto delle TI a circuito aperto e a circuito chiuso. TI a coppia e a potenza costante. Progetto di TI: selezione e configurazione. TI a pressione determinata.

Controllo automobilistico e di velocità.

Trasmissione Denison in circuito chiuso: descrizione e funzionamento.

Esempi di valvole di regolazione della pressione e della portata.

Valvole di sequenza, di scarico, di riduzione della pressione, di non ritorno.

Divisore / ricombinatore di flusso, valvola limitatrice di pressione proporzionale, valvola di controbilanciamento, valvole regolatrici di portata a 2 e 3 vie, pompa ad ingranaggi esterni.

LABORATORIO. [8 ore]

Centralina didattica. Rilievo delle prestazioni di circuiti oleodinamici. Controllo della velocità di rotazione di motori a cilindrata fissa mediante strozzatore variabile o regolatore di portata.

Banco prova distributori proporzionali ed idroguida *load-sensing*.

Smontaggio ed esame critico di particolari costruttivi di componenti oleodinamici presenti nel banco *load-sensing* (distributore proporzionale PVG60, valvola di priorità, idroguida LS, pompa VPA 40 LS a pistoni radiali).

Smontaggio ed esame critico di particolari costruttivi di componenti oleodinamici (valvole Abex, Denison, Hagglunds e Fluid Controls di pressione e di portata, motori orbitali, a pistoni assiali, a palette, pompe ad ingranaggi esterni).

Rilievo delle caratteristiche stazionarie e dinamiche di servovalvole elettroidrauliche.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Oleodinamica e pneumatica, appunti di supporto al corso, predisposti dal docente, aggiornati e riveduti ogni anno e con circolazione limitata agli allievi.

Testi ausiliari per approfondimenti:

Vengono segnalati di anno in anno nel testo di riferimento.

ESAME. Orale, sugli argomenti svolti e proposti a lezione, esercitazione in aula e nelle esperienze di laboratorio

P5130 **Sperimentazione sulle macchine**

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

Docente: Mario R. Marzano

Scopo del corso è quello di fornire le nozioni teoriche e l'esperienza pratica necessarie per affrontare i problemi connessi con le misure sperimentali sulle macchine in generale. È particolarmente indicato per coloro che intendano svolgere attività sperimentale nel campo delle macchine presso l'università, l'industria o presso istituti preposti a prove di omologazione e di collaudo.

PROGRAMMA (Lezioni ed esercitazioni)

Il problema della misura. [2 ore]

Statistica. Misure ripetute; distribuzione delle frequenze. Stima del valore vero in base al dato singolo e in base alla media del campione. [4 ore]

Analisi dei dati sperimentali. Selezione mediante il criterio di Chauvenet. Metodi di interpolazione. Minimi quadrati. [4 ore]

- Propagazione degli errori nelle misure indirette. Errore assoluto ed errore relativo, di natura accidentale e non accidentale. [2 ore]
- Sistemi fisici e sollecitazioni elementari. Sistemi del primo e del secondo ordine. Applicazioni. [6 ore]
- Strumentazione di laboratorio. Elementi elettronici della strumentazione. Amplificatore operativo. Applicazioni. Trattamento e trasmissione del segnale. [4 ore]
- Cenni sui sistemi di acquisizione dei dati. [2 ore]
- Misure di temperatura. [8 ore]
- Misure di portata di fluidi. [6 ore]
- Misure di deformazione e grandezze fisiche derivate. [4 ore]
- Misure di coppia, velocità angolare e potenza meccanica. [8 ore]
- Misure di pressione. [8 ore]
- Misure di detonazione e prove di qualificazione dei carburanti. [6 ore]
- Problematiche relative agli apparati di iniezione. [4 ore]
- Misure di inquinamento da motori a combustione interna. [8 ore]

LABORATORIO

Esempio di alcune possibilità:

1. Oscilloscopio e generatore di funzioni.
2. Galvanometro ottico: registrazione della risposta e valutazione dello smorzamento.
3. Trattamento del segnale: filtri elettrici passabasso e passaalto.
4. Termocoppie: risposta al gradino e operazioni di taratura.
5. Caratteristica manometrica e rendimento di una pompa Kaplan.
6. Caratteristica meccanica di un motore ad accensione comandata.
7. Caratteristica di regolazione di un motore ad accensione per compressione.
8. Strumentazione per la misura degli inquinanti.
9. Sistema di acquisizione dati.
10. Cella per prove su motori a combustione interna.
11. Valutazione del numero di ottano delle benzine.
12. Banco di prova per iniettori di combustibile.
13. Banco di prova per un motore a fasatura variabile.
14. Banco di prova per un motore a carica stratificata.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

G. Minelli, *Misure meccaniche*, Pàtron, Bologna.

J.P. Holman, *Experimental methods for engineers*, McGraw-Hill

Testi ausiliari:

Doebelin, *Measurement systems*, McGraw-Hill.

Beekwith, Buck, *Mechanical measurements*, Addison-Wesley, London.

R.P. Benedict, *Fundamentals of pressure, temperature and flow measurements*, Wiley.

Worthing, Geffner, *Elaborazione dei dati sperimentali*, Ed. Ambrosiana, Milano.

ESAME

All'esame occorre portare le relazioni scritte di tutte le esercitazioni svolte durante il corso, sia in aula che in laboratorio, anche quelle a cui si fosse stati assenti, e su tutte bisogna essere preparati a rispondere.

L'esame consiste in una prova orale su argomenti trattati a lezione, a esercitazione e nelle esperienze di laboratorio. In genere alle domande è necessario rispondere a voce e per iscritto (con frasi di testo, formule, schemi, diagrammi e tutto quanto si ritiene pertinente alla circostanza e opportuno al fine di illustrare in maniera chiara, organica, rapida ed efficace gli argomenti in oggetto). Si raccomanda di effettuare tempestivamente la prenotazione all'esame presso la segreteria didattica del dipartimento di Energetica e comunque, possibilmente, entro una settimana dalla data ufficiale dell'appello.

P4020 Principi e metodologie della progettazione meccanica

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

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 assial-simmetrici. [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 flessione-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.

P2730 Impianti meccanici

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

Docente: Giovanni Bauducco (collab.: Carlo Rafele)

[Vedere anche p. 79]

Il corso persegue gli obiettivi di far conoscere le diverse fasi nelle quali si articola il progetto degli impianti industriali e di fornire le nozioni necessarie per la gestione e l'esercizio degli impianti stessi. In particolare le lezioni sono finalizzate all'esposizione dei criteri teorici e pratici per la progettazione e la gestione delle diverse tipologie di impianto; le esercitazioni consistono nella realizzazione dello studio di uno stabilimento industriale con l'applicazione di quanto illustrato nelle lezioni. Sono inoltre previste visite ad impianti industriali.

REQUISITI. È opportuno che lo studente abbia già seguito i corsi di *Scienza delle costruzioni, Fisica tecnica, Meccanica applicata alle macchine, Meccanica dei fluidi.*

PROGRAMMA

Criteri generali di progettazione degli impianti industriali, con particolare riferimento alla scelta ubicazionale, alla determinazione della potenzialità ed allo studio della disposizione delle macchine, dei reparti e dei servizi generali ed ausiliari. [6 ore]

Mezzi ed apparecchi di sollevamento e trasporto all'interno degli impianti industriali. [8 ore]

Criteri per il dimensionamento dei magazzini industriali. [6 ore]

Impianti di approvvigionamento e distribuzione dei servomezzi occorrenti negli stabilimenti industriali: captazione e distribuzione dell'acqua per usi tecnologici ed antincendio, produzione e distribuzione dell'aria compressa, trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica, impianti di illuminazione. [8 ore]

Impianti di trattamento e ricircolo delle acque reflue; trattamenti dei fanghi. [4 ore]

Impianti di aspirazione e filtrazione delle polluzioni atmosferiche prodotte nelle lavorazioni industriali. [4 ore]

Isolamento e riduzione dei rumori e delle vibrazioni nell'ambito industriale. [2 ore]

Impiego di metodologie statistiche e di tecniche di ricerca operativa alla progettazione, gestione ed esercizio degli impianti industriali. [8 ore]

Ingegneria economica: ammortamento, valutazione della redditività degli investimenti in impianti, estimo industriale. [6 ore]

Gestione dei progetti d'impianto (*project management*). [4 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella progettazione di massima di un impianto industriale attraverso le seguenti fasi applicative:

- studio del *plant layout* e del flusso dei materiali; [10 ore]
- dimensionamento dei magazzini; [8 ore]
- calcolo delle reti di distribuzione dell'acqua tecnologica, dell'energia elettrica, dell'aria compressa; [10 ore]
- progetto dell'impianto di illuminazione; [5 ore]
- progetto degli impianti antincendio; [5 ore]
- dimensionamento dei mezzi e sistemi di movimentazione; [8 ore]
- stesura del piano regolatore generale; [6 ore]
- valutazione economica dell'investimento e determinazione dei costi di esercizio dell'impianto oggetto dello studio. [8 ore]

BIBLIOGRAFIA

Armando Monte, *Elementi di impianti industriali*, Cortina, Torino.

In generale si suggerisce l'eventuale integrazione dei vari argomenti con l'ausilio della bibliografia riportata sul testo di riferimento.

ESAME

I temi svolti in esercitazione sono oggetto di verifica sia durante l'anno che in sede di esame finale.

È prevista una prova orale che consiste in una serie di domande riguardanti sia gli argomenti trattati a lezione, che ad esercitazione.

Il voto finale dipende principalmente dall'esito dell'esame orale. Hanno peso limitato anche gli elaborati realizzati nelle esercitazioni.

P2730 **Impianti meccanici**

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

Docente: Armando Monte (collab.: Carlo Rafele)

[Vedere anche p. 77]

Scopo del corso far conoscere i principali problemi attinenti agli impianti industriali, con i quali gli ingegneri meccanici verranno a contatto durante la loro attività professionale, e fornire i criteri di progettazione e gestione degli stessi.

REQUISITI. *Scienza delle costruzioni, Fisica tecnica, Meccanica applicata alle macchine, Meccanica dei fluidi.*

PROGRAMMA

Criteri di progettazione degli impianti industriali. Potenzialità produttiva ed ubicazione. La disposizione dei macchinari e dei reparti: metodi di studio e di valutazione. Sicurezza ed ergonomia. [8 ore]

Applicazione di metodi di ricerca operativa alla progettazione degli impianti. [8 ore]

Ingegneria economica. Valutazione della redditività degli investimenti impiantistici. [6 ore]

I trasporti interni agli stabilimenti industriali. Carrelli, carriponte, gru, AGV, automotori, *skid*, trasporti pneumatici. Magazzini industriali. [12 ore]

Impianti generali di distribuzione dell'acqua, dell'aria compressa e degli altri servomezzi occorrenti negli stabilimenti industriali. Reti di distribuzione dei servomezzi. Approvvigionamento dell'acqua, dell'energia elettrica, dell'aria compressa, ecc. Impianti antincendio. Fognature. [11 ore]

Impianti di trattamento e ricircolo delle acque primarie e di scarico. [4 ore]

Trattamento dei fanghi e dei rifiuti solidi. [2 ore]

Impianti di aspirazione e filtrazione delle polluzioni atmosferiche. [2 ore]

Isolamento e riduzione dei rumori e delle vibrazioni in campo industriale. [2 ore]

Gestione dei progetti (*project management*). Fasi di una commessa. Responsabilità del capo progetto: controllo dei tempi, costi e qualità. Tipi di contratti. [5 ore]

ESERCITAZIONI. Progettazione di massima di un impianto industriale, applicando gli argomenti svolti a lezione.

LABORATORIO. Visite ad impianti industriali.

BIBLIOGRAFIA

A. Monte, *Elementi di impianti industriali*, Cortina, Torino, e, in generale, la bibliografia ivi riportata.

P3840 Motori termici per trazione

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 80+30+6 (nell'intero periodo)

Docente: Carlo Vincenzo Ferraro

Scopo del corso è lo studio dei motori termici adatti alla trazione. Le nozioni già acquisite al riguardo nei precedenti corsi di *Macchine* vengono approfondite e completate con nozioni più specifiche. Il corso comprende una parte descrittiva, dedicata all'analisi della costituzione di particolari motori o di loro particolari apparati, ed una parte a carattere formativo dedicata allo studio sia di problemi caratteristici dei motori termici per trazione, sia delle nozioni di base per la loro progettazione dal punto di vista termofluidodinamico.

REQUISITI. Sono propedeutiche le nozioni acquisite in *Macchine 1 e 2*, oppure in *Macchine*.

PROGRAMMA

Generalità, classificazione, fasi, rendimenti. Prestazioni dei motori. [15 ore]

Classificazione delle macchine a fluido. Classificazione dei motori alternativi in base alle caratteristiche di funzionamento, alle caratteristiche cinematiche, in base ai tempi. Cicli Otto, Diesel, Sabathè ideali. Varie fasi di funzionamento dei motori a 4T e 2T e scostamento dai cicli limiti. Limiti di ϵ e p_{\max} nei motori Otto e Diesel. Incidenza delle laminazioni all'aspirazione su η_{a0} e su λ_{av} . Posticipo di chiusura della valvola di aspirazione: incidenze su λ_{av} e sulla caratteristica meccanica. Confronto caratteristica meccanica Diesel - Otto. Relazioni di più frequente utilizzazione. Richiami sul rendimento limite, sul rendimento termodinamico interno e sul rendimento organico e sulla pme al variare della dosatura e della velocità angolare.

Apparati della distribuzione. [4 ore]

Apparati della distribuzione a valvole comandate. Valvole desmodroniche. Punterie idrauliche. Regolazione dei motori Otto per chiusura anticipata della valvola di aspirazione. Apparati della distribuzione a scorrimento continuo (cenni).

Termodinamica e termofisica dei sistemi continui. [8 ore]

Punto di vista sostanziale e locale, parametri necessari per definire lo stato di un sistema. Calcolo del lavoro di superficie. Primo principio della termodinamica in forma sostanziale. Relazioni termiche e meccaniche fra sistema e esterno. Applicazione del primo principio della termodinamica alla fase di aspirazione dei motori alternativi a 4T: calcolo del λ_{av} semplificato. Combustione adiabatica a volume costante e a pressione costante. Potere calorifico inferiore e superiore a volume costante e a pressione costante. Applicazione di H_i al calcolo della T_3 . Variazioni di H_i con la temperatura. Confronto fra H_p e H_v e T_{3p} e T_{3v} . Relazione fra Q , integr. $p dv$ e L_{wm} . Secondo principio della termodinamica. Principio di conservazione dell'energia in forma locale. Applicazione ai moti permanenti e ciclici. Combustione stazionaria a pressione variabile.

Alberi a gomito. [8 ore]

Forze e momenti agenti sul motore alternativo. Regularizzazione del momento motore. Uniforme sfasamento delle manovelle, effetto sulla risultante delle forze centrifughe. Forze d'inerzia: contributi del primo e del secondo ordine. Regole di simmetria. Disposizione longitudinale delle manovelle per le varie categorie di motori in linea. Equilibramento di forze o momenti residui con masse su alberi supplementari. Motori a

V: regola della rotazione parziale, conservazione del momento motore, relazione fra le forze d'inerzia di cilindri nello stesso piano trasversale. Motori stellari e motore *boxer*. Ordine di accensione.

Alimentazione dell'aria. [10 ore]

λ_{ν} , nei motori a 4T. Fattori che lo influenzano, fenomeni dinamici, rifiuto, fughe. Influenza degli scambi termici, della temperatura ambiente, delle laminazioni, formula semplificata, estrapolazioni semplici dei diagrammi sperimentali di λ_{ν} , *gulf factor* (cenni), modelli numerici per il calcolo. Legge di alzata delle valvole, numero di valvole per cilindro.

λ_{ν} , nei motori a 2T. Generalità, schemi di lavaggio, analisi del processo di lavaggio. λ_{ν} ed η_{lv} nei motori a 2 tempi al variare del coefficiente di lavaggio e del λ_{ν} limite, zone di lavoro degli Otto e dei Diesel. Motori Otto 2T: particolarità costruttive, ciclo delle pressioni nel *carter*.

Alimentazione del combustibile. [18 ore]

1. *Alimentazione del combustibile nei motori ad accensione comandata.*

Dosature richieste e requisiti generali, problemi di ripresa, dosatura di saturazione e problemi di avviamento a freddo. Carburatore elementare, a getto anegato, ad aria antagonista. Iniezione nei motori Otto: generalità, classificazione. Confronto fra carburazione e iniezione, fra iniezione diretta e indiretta. Parametri di controllo degli apparati di iniezione per Otto. Apparato di iniezione meccanica K-Jetronik. Apparati di iniezione elettronica: iniettori usati, alimentazione dell'iniettore. Iniettori elettromagnetici: andamento nel tempo delle correnti, metodi per accelerare l'apertura e la chiusura, andamento nel tempo delle masse iniettate. Cenni sulle masse iniettate al variare del tempo di eccitazione ed ai problemi di non linearità. Apparato di iniezione elettronica Motronic. Apparato di iniezione elettronica D-Jetronic (cenni).

2. *Alimentazione del combustibile nei motori ad accensione per compressione.*

Problemi di polverizzazione: necessità di iniettori ad apertura automatica e di valvole automatiche sulla mandata della pompa. Necessità di utilizzare la parte centrale della corsa delle pompe di iniezione alternative. Sistemi di iniezione meccanica basati sul principio della pompa Bosch.

Combustione. [18 ore]

1. *Generalità.*

Velocità di reazione e temperatura di accensione. Formazione dei perossidi. Macchine a compressione rapida e tempi di induzione. Relazione fra tempi di induzione e tempi di accensione in compressioni gradualmente. Temperatura di accensione. Combustibili per motori ad accensione comandata e ad accensione per compressione.

2. *Combustione nei motori ad accensione comandata.*

Parametri che influenzano la velocità di propagazione della fiamma. Anomalie di combustione: generalità, preaccensione, autoaccensione, rombo (cenni), *misfiring* (cenni). Detonazione: generalità, teoria dell'autoaccensione dell'*end-gas* e dell'onda esplosiva, danni meccanici ed energetici, distribuzione dell'intensità di detonazione, individuazione dell'incipiente detonazione, controllo dell'anticipo di accensione, influenza dei parametri geometrici, ambientali, del rapporto di compressione, dei vari parametri di funzionamento, del carburante, degli additivi, della velocità angolare e di più parametri di funzionamento variabili simultaneamente. Metodi di misura Research e Motor. Metodo Union Town. Metodi di misura non convenzionali dell'intensità di detonazione ad alta velocità angolare a regime costante. Richiesta ottanica dei motori.

3. *Combustione nei motori ad accensione per compressione.*

Ritardo all'accensione, andamento delle pressioni, delle masse iniettate e bruciate, parametri che influenzano la ruvidezza, ruvidezza al variare della velocità angolare.

Numero di cetano. Fumosità, limiti di dosatura, problemi di polverizzazione, diffusione, turbolenza, penetrazione. Massima quantità iniettabile; necessità di dispositivi di adeguamento, per la massima velocità angolare e per il regime di minimo (cenni). Apparatì di regolazione discontinui e continui (cenni). Calcolo della profondità di penetrazione. Condizioni da imporre nel dimensionamento dell'apparato di iniezione. Similitudine fra motori Diesel (cenni). Iniezione diretta e in precamera e corrispondenti forme della camera di combustione.

Emissioni di inquinanti. [4 ore]

Effetti nocivi, meccanismi di formazione, influenza dei parametri geometrico-costruttivi e dei parametri di funzionamento. Legislazione vigente e cicli di prova. Metodo di abbattimento degli inquinanti: reattori termici, catalizzatori a tre vie, sonda *lambda*, EGR. Trappole per il particolato.

ESERCITAZIONI

1. esercitazione. [6-8 ore]

Descrizione di un motore alternativo a 4T ad accensione comandata per trazione automobilistica. Riproporzionamento di massima dell'apparato di aspirazione di un motore alternativo a 4T. Disegno della sezione trasversale del motore riproporzionato.

2. esercitazione, per gli studenti che abbiano frequentato Macchine. [10-12 ore]

Dimensionamento di massima del volano di un motore alternativo a 4T ad accensione comandata per trazione automobilistica.

Calcolo del ciclo Otto convenzionale.

Calcolo della *p_{mi}*, delle pressioni efficaci e tangenziali.

Calcolo del lavoro motore e del lavoro resistente (motore monocilindrico).

Calcolo del volano e della velocità angolare (motore monocilindrico).

Calcolo del lavoro motore e del lavoro resistente (motore pluricilindrico).

Calcolo del volano e della velocità angolare (motore pluricilindrico).

2. esercitazione, per gli studenti che abbiano frequentato Macchine 2. [8-10 ore]

Studio della distribuzione di un motore alternativo a 4T.

Camma a 2 centri: geometria, accelerazioni, velocità, alzate.

Camma a 3 centri: geometria, accelerazioni, velocità, alzate, forze d'inerzia, molle, fasatura.

3. esercitazione. [6-8 ore]

Contrappesamento dell'albero a gomiti di un motore alternativo a 4T a 6 cilindri in linea.

Calcolo delle reazioni vincolari.

Dimensionamento di massima dei contrappesi.

4. esercitazione. [8-10 ore]

Misure di potenza.

Apparecchiature per il rilievo della potenza: freni dinamometrici tarati ed a reazione (meccanici, idraulici, elettrici); cenni su torsionometri ed estensimetri; misure di velocità angolare.

Curve caratteristiche: caratteristica meccanica, caratteristica di regolazione, cubica di utilizzazione.

Correzione di potenza per motori Otto a carburazione e ad iniezione, per motori Diesel.

LABORATORIO

È obbligatoria la frequenza al 100 % dei laboratori. Gli studenti verranno suddivisi in squadre di 12-15 elementi; la composizione delle squadre, il calendario e gli orari dei laboratori verranno affissi nella bacheca del dipartimento di Energetica. Gli spostamenti da una squadra ad un'altra sono consentiti solo se concordati preventivamente con il docente esercitatore.

1. Smontaggio di un motore alternativo a 4T. [2 ore]
2. Rilievo caratteristica meccanica e cubica di utilizzazione per motore a ciclo Otto.
[2 ore]
3. Rilievi sperimentali su di un banco prova motori. [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

È consigliabile frequentare lezioni ed esercitazioni, e servirsi degli appunti per la preparazione dell'esame. Difatti non esiste un unico testo che tratti gli argomenti del corso in modo simile a quello adottato, e, d'altro canto, la trattazione di molti temi deriva da sviluppi del docente titolare del corso o di suoi colleghi.

Sono disponibili appunti degli anni precedenti, utili per sopperire ad assenze occasionali.

Testi per approfondire singoli argomenti, ove ciò sia necessario nella futura attività professionale, sono i seguenti:

J.B. Heywood, *International combustion engine fundamentals*, McGraw-Hill.

G. Ferrari, *Motori a combustione interna*, Il Capitello, Torino.

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

Ferguson, *International combustion engines*, Wiley, New York. (Modelli).

E.F. Obert, *International combustion engine and air pollution*, Intex, New York.

C.F. Taylor, *The internal combustion engine in theory and practice*, MIT Press.

F. Schmidt, *The internal combustion engine*, Chapman & Hall.

ESAME

L'esame è articolato, di norma, in 3-4 domande riguardanti sia le lezioni che le esercitazioni numeriche, grafiche e di laboratorio svolte. Agli argomenti inerenti le lezioni sono riservate almeno due domande, a quelli inerenti le esercitazioni almeno una. L'esame è, di norma, in forma orale. Ove ad alcune domande si richieda risposta per iscritto, segue sempre una discussione orale delle risposte date.

P1530 **Economia ed organizzazione aziendale**

Anno/periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+3 (ore settimanali)

Docente: Nicola Dellepiane

Il corso presenta i principi, le metodologie e le applicazioni dell'economia aziendale alle decisioni sia di gestione operativa (programmazione) che di evoluzione e sviluppo (pianificazione) dell'azienda ed alle decisioni di controllo di piani e programmi. Di tali processi decisionali e delle relative conseguenze operative si evidenziano i principali riflessi organizzativi.

PROGRAMMA

1. *L'analisi del sistema aziendale e dei suoi rapporti con l'ambiente.* [12 ore]

L'azienda sistema aperto. Analisi della dinamica dei principali sottosistemi aziendali. Obiettivi, strategie e politiche di mercato e prodotto, di ricerca e sviluppo, tecnologiche, di tipologie di approvvigionamento, produzione e distribuzione, finanziarie, anche con riferimenti, di natura esemplificativa, a diversi settori industriali. Le funzioni aziendali e le principali problematiche di organizzazione.

2. *Metodologie di analisi previsionale.* [3 ore]

Si analizzano, in relazione alle caratteristiche delle decisioni di pianificazione e di programmazione ed ai diversi contenuti delle stesse, le più idonee metodologie previsionali dei valori dei parametri economici e tecnici, essenzialmente riconducibili ad elaborazioni di tipo statistico su dati consuntivi o di tipo soggettivo probabilistico.

3. *Principi di analisi economica per le decisioni aziendali.* [7 ore]

Si evidenziano i più importanti parametri economici per le decisioni di gestione operativa e per le decisioni di evoluzione e sviluppo dell'azienda. Si sottolinea la necessità di elaborare in termini differenziali i valori dei parametri economici utilizzati per tali decisioni e di evitare, pena gravi errori, ogni riferimento alle elaborazioni convenzionali che sono effettuate a scopo contabile.

Particolare attenzione è dedicata alle decisioni in condizioni di incertezza e ai criteri di decisione da utilizzare nelle analisi economiche più complesse quali sono quelle relative agli investimenti.

4. *Metodologie di analisi economica per le decisioni di programmazione.* [20 ore]

Si presentano con adeguata ampiezza e profondità le metodologie di analisi economica per le decisioni di programmazione ed organizzazione della produzione per magazzino e su commessa, per l'integrazione di tali decisioni con le decisioni di mercato (essenzialmente relative alle quantità di prodotti da portare sui diversi mercati ed ai relativi prezzi di vendita), con le decisioni di approvvigionamento (di materie prime e di semilavorati), con le decisioni di trasporto sia a monte che a valle del sistema produttivo e con le decisioni di distribuzione dei prodotti finiti, nell'ottica concettuale ed operativa di un sistema logistico aziendale.

5. *Metodologie di analisi economica per le decisioni di pianificazione.* [10 ore]

Si presentano le metodologie di analisi economica per le decisioni di scelta degli investimenti, con particolare riferimento a quelli dell'area di produzione e del sistema logistico, e per la formulazione del piano di investimenti dell'azienda e di reperimento delle relative fonti di finanziamento.

6. *Metodologie di analisi economica per le decisioni di controllo.* [6 ore]

Si presentano le metodologie del controllo qualitativo della produzione nel quadro

dell'equilibrio fra costo della qualità e valore del prodotto. Si presentano inoltre le metodologie e tecniche (contabili e non) per il controllo economico di gestione.

7. Sintesi dei risultati economico-finanziari dell'azienda. [12 ore]

La rilevazione consuntiva delle risultanze economiche e patrimoniali della gestione. Il bilancio di esercizio. Il conto economico, lo stato patrimoniale, il prospetto del flusso delle risorse finanziarie. Indici e relative utilizzazioni diagnostiche. Analisi critica dell'interpretazione dei predetti documenti nell'ottica di confronti delle metodologie in base alle quali sono preparati.

ESERCITAZIONI

Le ore disponibili per le esercitazioni (in media circa 40) sono dedicate allo svolgimento in aula da parte degli studenti, di esercizi e analisi di brevi casi nel seguente numero indicato fra parentesi per ciascun punto del programma: punto 2 (1), punto 3 (3), punto 4 (4), punto 5 (3), punto 6 (1), punto 7 (2).

Gli studenti che al termine di ciascuna esercitazione presenteranno un elaborato che risulterà ben fatto otterranno un credito di punteggio, da sommarsi al voto d'esame, espresso in x/n di trentesimo dove n è il numero delle esercitazioni che saranno svolte ed x dipende dalla difficoltà dell'esercitazione.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

N. Dellepiane, *Le analisi di costo – quantità – utile dei sottosistemi aziendali per le decisioni di gestione d'impresa*, Levrotto & Bella, Torino.

N. Dellepiane, *Analisi economiche per la preparazione del piano integrato di gestione aziendale*, Giappichelli, Torino.

N. Dellepiane, *Investment and financing decisions*, Giappichelli, Torino.

N. Dellepiane, *Formulazione e utilizzazione razionale dei criteri fondamentali per la scelta degli investimenti*, Levrotto & Bella, Torino.

N. Dellepiane, *Approfondimenti e conseguenze delle ipotesi di reinvestimento nei criteri di scelta degli investimenti*, Levrotto & Bella, Torino.

N. Dellepiane, *Documenti economico-finanziari di sintesi della gestione aziendale*, Giorgio, Torino.

Testi ausiliari:

G. Pellicelli, *Schemi per un corso di organizzazione aziendale*, Giappichelli, Torino.

J. Dean, *Managerial economics*, Prentice Hall.

E. Grant, *Principles of engineering economy*, Ronald Press.

N. Dellepiane, *Strategie di avviamento di settori industriali alle frontiere della tecnologia*, Levrotto & Bella, Torino.

N. Dellepiane, *The impacts of computer integrated manufacturing on company and industry : a survey and research*, Giappichelli, Torino.

N. Dellepiane, *L'incertezza nelle decisioni di investimento*, Giappichelli, Torino.

ESAME. L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale.

Programmi degli insegnamenti

(insegnamenti d'indirizzo e d'orientamento)

I programmi sono riportati in ordine alfabetico di titolo. Al termine del volume (p. 177) le tavole alfabetiche generali, per nomi dei docenti e per titoli degli insegnamenti.

P0030 Acustica applicata

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2+2 (ore settimanali); 60+20+20 (nell'intero periodo)
Docente: Alfredo Sacchi

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

Il corso si propone di fornire gli elementi di base della generazione, propagazione, ascolto e riproduzione del suono, al fine di permettere un inserimento in settori professionali sia elettronici, sia architettonici, sia industriali nei quali, sotto vari aspetti, il suono o il rumore debbano essere considerati nell'interesse di un ottimo ascolto, per il suono, o di una riduzione, per il rumore.

Interessi particolari di studenti vengono soddisfatti tramite l'assistenza da parte del docente e dei tecnici ad una tesina personale.

PROGRAMMA

Propagazione di onde elastiche nei solidi e del suono; analogie elettroacustiche ed elettromeccaniche; trasduttori elettroacustici.

Meccanismo dell'udito; psicoacustica.

Acustica degli ambienti; riverberazione.

Isolamento acustico e di macchine; danni all'orecchio; bonifica degli ambienti industriali.

Acustica delle grandi sale da spettacolo.

Applicazioni dell'acustica e degli ultrasuoni in vari campi della tecnica e della medicina.

La strumentazione acustica viene descritta ed usata dagli studenti in laboratorio.

BIBLIOGRAFIA. Documentazione fornita dal docente.

P0290 Applicazioni industriali elettriche

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 76+24 (nell'intero periodo)

Docente: Mario Lazzari

Il corso è a carattere prevalentemente informativo e gli argomenti trattati sono stati scelti in modo da fornire richiami sulle principali conoscenze di base e una panoramica sugli aspetti più diffusi delle applicazioni dell'energia elettrica che possono interessare un ingegnere meccanico. Le finalità sono quelle di fornire all'ingegnere meccanico una base di concetti in ambito elettrico, che possano facilitare la sua comunicazione professionale con ingegneri di alta specializzazione.

PROGRAMMA

1 Generalità. [8 ore]

- 1.1 Richiami sui circuiti magnetici e sulle relazioni fondamentali dell'elettromagnetismo.
- 1.2 Considerazioni dimensionali sulle macchine elettriche.

2 Conversione statica dell'energia elettrica. [16 ore]

- 2.1 Considerazioni generali sulla conversione statica e sui componenti elettronici di potenza.
- 2.2 Conversione CA - CC.
- 2.3 Conversione CC - CC.
- 2.4 Conversione CA - CA.

3 Azionamenti delle macchine elettriche. [24 ore]

- 3.1 Generalità. Il concetto generale di azionamento di un motore elettrico. I diversi tipi di azionamento e la loro classificazione: azionamento in CC e azionamenti in CA.
- 3.2 Cenni elementari di teoria del controllo.
- 3.3 Azionamenti in CC. Richiami sul principio di funzionamento del motore a CC e tipologie di motori usati. Regolazione di armatura e di campo. Azionamento di coppia, di velocità e di posizione. Applicazioni industriali e per trazione.
- 3.4 Azionamenti in CA con motori asincroni. Richiami sul principio di funzionamento del motore asincrono e varie tipologie dei motori. Criteri di scelta del motore e parametri utili per la scelta. Sistemi di regolazione di velocità a frequenza variabile.
- 3.5 Azionamenti in CA con macchine a struttura sincrona. Il principio di funzionamento della macchina sincrona come generatore e come motore. Applicazioni tipiche. Tecniche di comando *brushless* e attuali prospettive di impiego.

4 Impianti elettrici. [22 ore]

- 4.1 Aspetti generali della produzione e distribuzione dell'energia elettrica. Descrizione a blocchi della produzione, trasporto e distribuzione dell'energia elettrica.
- 4.2 Il trasformatore da distribuzione. Tipi di trasformatori trifase da distribuzione, modalità costruttive e connessione degli avvolgimenti. Grandezze di targa, loro significato e normativa. Funzionamento con carichi equilibrati e squilibrati. Rendimento del trasformatore, caduta di tensione industriale, la normativa di prova. Parallelo di trasformatori.
- 4.3 Le linee elettriche di distribuzione in bassa tensione. Tipologie di conduttori adoperati: cavi, linee aeree, blindosbarre. Induttanze di linea e resistenze di linea. Criteri generali di scelta della sezione del conduttore: portata di un conduttore, cadute di tensione. Rifasamento.

- 4.4 *Dispositivi di manovra e protezione.* Protezione contro i sovraccarichi e contro il corto-circuito. Fenomeno di interruzione di una corrente, arco elettrico. Interruttori di manovra, di protezione, fusibili: aspetti costruttivi, di funzionamento e caratteristiche di intervento.
- 4.5 *La sicurezza elettrica.* Pericoli dovuti alla corrente elettrica. Contatti diretti e indiretti. Stato del neutro nei sistemi di distribuzione a bassa tensione. Messa a terra delle apparecchiature e suo significato in termini di sicurezza. Definizione e misura della resistenza di terra. Protezione elettrica al neutro. Protezione mediante rilevatore differenziale.
- 5 *Misure elettriche e strumenti di misura.* [6 ore]
Strumenti analogici e digitali. Misura di tensioni e correnti. Misura di potenza e di fattore di potenza. Misuratori di energia. Tariffe dell'energia elettrica.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono in calcoli relativi a diverse applicazioni illustrate nel corso delle lezioni. Durante le esercitazioni potranno essere sviluppati, anche in forma di seminari, aspetti pratici specifici e illustrazioni della normativa elettrica riguardante gli argomenti discussi nelle lezioni.

BIBLIOGRAFIA

Data la varietà degli argomenti trattati non è utilizzabile un unico libro di testo, si consiglia pertanto la preparazione dell'esame sugli appunti delle lezioni. Nel corso delle lezioni verranno di volta in volta suggeriti i testi di consultazione e riferimento per i singoli argomenti.

ESAME. L'esame è esclusivamente orale con appelli a cadenza settimanale a partire dal termine del corso.

P0350 Automazione a fluido

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

Docente: Guido Belforte

Il corso ha lo scopo di far conoscere i diversi sistemi di automazione a fluido attualmente utilizzati e di fornire le nozioni di base indispensabili per una corretta progettazione e per un uso razionale degli impianti a fluido. Vengono quindi analizzati componenti ed elementi di vari tipi di sistemi pneumatici, micropneumatici e fluidici, digitali e proporzionali. Vengono inoltre fornite nozioni di analisi dei sistemi, di tecniche di automazione digitale e di modellazione dei sistemi pneumatici.

REQUISITI

Nozioni acquisite con la frequenza del corso di *Meccanica applicata alle macchine*.

PROGRAMMA

Struttura dei sistemi automatici. Proprietà dei sistemi pneumatici, micropneumatici, fluidici, oleodinamici. Cilindri a semplice e doppio effetto. Valvole a due, tre, quattro vie; comandi, funzionamento e simbologia delle valvole. Valvole ausiliarie dei circuiti pneumatici (OR, AND, sequenza, di non ritorno, temporizzazione, regolatori di flusso, scarico rapido, economizzatrice, ecc). Proprietà delle valvole pneumatiche. [8 ore]

Principi di algebra logica. Funzioni combinatorie e sequenziali. Operatori logici e relativa simbologia ISO-IEC. Tipi di memorie. Elementi pneumologici. [4 ore]

Elementi micropneumatici Samsomatic, Dreloba, Selp. Getti e principi di fluidica. Elementi fluidici digitali e proporzionali: funzionamento e caratteristiche operative. [8 ore]

Sistemi a tempo e ad eventi. Diagrammi funzionali: movimenti – fasi, Grafcet, Gemma. Tecniche di controllo digitali a logica cablata e programmabili. Elementi con memorie pneumatiche, con memorie ausiliarie, contatori binari, programmatori a fase, moduli sequenziatori. Comandi con relè: funzioni logiche combinatorie e sequenziali; tecnica del Grafcet contratto. Controllori logici programmabili (PLC): proprietà generali e linguaggi di programmazioni (lista di istruzioni, sequenziale, *ladder*). Criteri di scelta tra sistemi con sequenziatori, relè, PLC. [14 ore]

Elementi di interfaccia, elettrovalvole e sistemi elettropneumatici digitali e proporzionali. Sensori ed elementi di fine corsa, elementi periferici. [6 ore]

Cilindri specializzati e applicazioni dei sistemi pneumatici. [4 ore]

Modellazione e comportamento dinamico dei sistemi pneumatici: resistenze, capacità, induttanze. Sistemi a parametri concentrati e distribuiti, propagazione dei segnali pneumatici. Esempi di modellazione di circuiti pneumatici. [6 ore]

Struttura degli impianti pneumatici, alimentazione degli impianti. trattamento dell'aria, affidabilità, aspetti energetici, ecologici e di sicurezza. [6 ore]

LABORATORIO

Viene svolto un ciclo di 12 esercitazioni di laboratorio della durata ognuno di 4 ore.

Durante ogni esercitazione vengono sviluppate una o più gruppi di prove.

Le esercitazioni devono essere svolte da singole squadre di studenti che seguono ciascuna un proprio percorso con assistenza in laboratorio.

Il programma dettagliato delle esercitazioni sarà distribuito ad ogni singola squadra.

La presenza alle esercitazioni è obbligatoria e condiziona la firma di frequenza.

Di tutte le esercitazioni deve essere preparata una relazione che viene presentata quando si effettua l'esame.

La relazione comprende un testo che descrive gli scopi, le attrezzature usate, le modalità di prova, ecc. e contiene tutti i dati sperimentali misurati ed elaborati, e una serie di tavole.

Il testo può essere preparato singolarmente, da ogni studente, o dall'intera squadra, per cui può essere disponibile un unico testo per ogni singola squadra.

Le tavole illustranti gli schemi delle prove e i diagrammi riassuntivi devono essere singoli per ogni studente. Dette tavole possono essere preparate:

- a) completando le tavole allegate al testo di esercitazioni;
- b) preparando interamente dette tavole su carta millimetrata (non sono ammesse fotocopie di tavole del testo).

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

G. Belforte, N. D'Alfio, *Applicazioni e prove dell'automazione a fluido*, Giorgio, Torino, 2. ed., 1992.

G. Belforte, *Pneumatica*, Tecniche Nuove, Milano, 1987.

Testo ausiliario:

D. Bouteille, G. Belforte, *Automazione flessibile elettropneumatica e pneumatica*, Tecniche Nuove, Milano, 1987.

ESAME. L'esame si svolge in forma orale sull'intero programma del corso (lezione ed esercitazione), con discussione, in particolare, di quanto svolto in laboratorio.

P0380 Azionamenti elettrici

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8+2 (ore settimanali); 104+16 (nell'intero periodo)

Docente: Francesco Profumo

Il corso, dopo una breve introduzione sulle principali applicazioni industriali in cui sono utilizzati gli azionamenti elettrici, tratta separatamente gli azionamenti per motori a corrente continua, gli azionamenti per motori ad induzione e gli azionamenti per motori sincroni. Durante il corso sono programmate alcune visite presso aziende che producono azionamenti (o parti di essi) o ne sono utilizzatrici.

REQUISITI. *Analisi matematica 1 e 2, Elettrotecnica 1.*

PROGRAMMA

Note introduttive. [4 ore]

Definizione di azionamento e degli elementi costituenti: attuatori elettromeccanici, strutture elettroniche di potenza e strutture di controllo. Tipologie di azionamenti *dc* e *ac* e principali campi di applicazione.

Strutture elettroniche di potenza. [16 ore]

Componenti elettronici di potenza: diodi, SCR, GTO, BJT, MOSFET, IGBT. Riepilogo dei convertitori *ac / dc* e tipologie di controllo. Tipologie di convertitori *dc / dc*. Tipologie di convertitori *ac / ac* senza *link* in continua: *back to back* e convertitori a matrice. Tipologie di convertitori *ac / ac* con *link* in continua: *hard switching* e *soft switching*. *Inverter* a tensione impressa e a corrente impressa.

Attuatori elettromeccanici. [20 ore]

Riepilogo delle equazioni della macchina *dc* e tipologie di motori a campo avvolto e a magneti permanenti.

Riepilogo delle nozioni basi dei motori ad induzione e dei motori sincroni con riferimento alle applicazioni a velocità variabile.

Strutture di controllo. [12 ore]

Generalità sul comando in tensione e sul comando in corrente. Tipologie di modulatori (analogici e digitali) e tecniche di modulazione in anello aperto e con riferimenti generati in anello chiuso.

Controlli analogici e digitali.

Azionamenti dc. [10 ore]

Azionamenti con strutture di potenza a ponte e controllo della tensione di armatura e della tensione di campo. Anelli di corrente. Controllo a coppia costante e a potenza costante. Azionamenti con strutture di potenza a *chopper*.

Azionamenti ac per motori ad induzione. [34 ore]

Soft start. Azionamenti ad *inverter* a corrente impressa. Azionamenti ad *inverter* a tensione impressa: ad onda quadra e modulati.

Metodi scalari di controllo. Azionamenti per il controllo della frequenza e per il controllo della coppia. Azionamenti con *inverter* di tensione di tipo *V/f* costante: anello aperto, con anello di velocità, con controllo di scorrimento, controllo di coppia e di flusso. Azionamenti di tipo CRPWM. Azionamenti con *inverter* di corrente. Limiti delle soluzioni presentate.

Metodi vettoriali di controllo.

Azionamenti ac per motori sincroni. [8 ore]

Metodi scalari di controllo: anello aperto di tipo V/f costante, autocontrollo, cicloconvertitore.

Metodi vettoriali di controllo: cicloconvertitore, motori a magneti permanenti.

BIBLIOGRAFIA

N. Mohan, T. Undeland, W.P. Robbins, *Power electronics : converters, applications and design*, Wiley, New York, 1995.

T.A. Lipo, D.W. Novotny, *Electromechanical systems*, (Note del corso ECE 411), University of Wisconsin, Madison, 1986.

W. Leonhard, *Control of electrical drives*, Springer, Berlin [etc.], 1985.

B.K. Bose, *Power electronics and AC drives*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986.

ESAME

L'esame sarà distribuito durante il semestre e sarà articolato in: 7 esercitazioni a casa che saranno corrette e valutate (25 % del voto finale), un primo compito a metà corso (35 % del voto finale) ed un secondo compito a fine corso (40 % del voto finale). In caso di esito globale positivo, l'esame si riterrà superato.

L'esame fuori dal semestre sarà articolato in una prova scritta (durata 3 ore) ed in una prova orale.

P0390 Azionamenti elettrici per l'automazione

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8++8 (ore settimanali)

Docente: Alfredo Vagati (collab.: Antonio Fratta)

Scopo del corso è quello di descrivere gli attuali azionamenti industriali impiegati nel campo dell'automazione ad alte prestazioni (macchine utensili, robotica). Vengono trattate le problematiche sia di macchina sia di controllo di azionamento, con un orientamento il più possibile di tipo applicativo.

REQUISITI

Il corso, di carattere interdisciplinare, è destinato ad allievi informatici, elettronici, elettrici e meccanici. Sono richieste le nozioni fondamentali di elettrotecnica e di controlli automatici. Pur non essendo strettamente necessaria, è consigliabile per gli allievi elettronici ed automatici la frequentazione del corso di *Macchine elettriche*.

PROGRAMMA

1. Introduzione al corso. [4 ore]

Elementi caratteristici di un azionamento. Tipologie applicative di azionamenti. Azionamenti ad alte prestazioni dinamiche. Azionamenti tipo asse e tipo mandrino (deflussaggio). Controllo di coppia e controllo di azionamento.

2. Controllo di azionamento. [18 ore]

Caso esemplificativo del motore in corrente continua. Struttura *cascade control* e sue motivazioni. Limitazioni fisiche (saturazioni). Compensazione PI ed effetto coda. Fenomeno del *wind-up*. Effetto dinamico delle risonanze torsionali lato tachimetrico e lato motore. Effetto del *ripple* di misura della velocità. Impiego di osservatori di carico e/o di filtraggio del *ripple* tachimetrico.

3. *Motori in c.c. ad alte prestazioni.* [6 ore]

Servomotori a magneti permanenti. Caratteristiche dei moderni materiali. Strutture costruttive diverse e loro impatto sui parametri di controllo. Modello termico del motore in c.c. Valutazione della temperatura massima durante cicli di sovraccarico.

4. *Amplificatori switching (chopper) per il comando di servomotori in c.c.* [8 ore]

Quadranti di funzionamento e tecniche di comando. Tecniche di modulazione. Confronto tra tecniche di modulazione sulla base dell'ondulazione di corrente. Perdite nel ferro indotte dalla modulazione. Dimensionamento energetico del bus di alimentazione. *Chopper, inverter, inverter* modulato: estensione al comando di motori in c.a.

5. *Analisi della commutazione elettronica.* [12 ore]

Commutazione non assistita (monoquadrante). Impatto della non idealità del diodo di ricircolo, modello del diodo. Commutazione assistita al *turn-on* e al *turn-off* (monoquadrante). Commutazioni (assistite) di una gamba di *inverter*. Specificità di diversi tipi di componenti attivi. Cenni sui circuiti di pilotaggio e di protezione.

6. *Servomotori brushless.* [15 ore]

Motivazioni tecnologiche e principi di funzionamento. Generalità costruttive. Modellistica, equazioni di macchina, bilancio energetico. *Brushless* trapezio isotropo. Caratteristiche costruttive. Alimentazione in tensione e corrente. Definizione della corrente equivalente e controllo PWM. Funzionamento da motore e generatore, limitazione di tensione, ondulazione di coppia. Tachimetro *brushless*.

7. *Servomotore brushless sinusoidale.* [15 ore]

Caratteristiche costruttive. Deduzione delle equazioni trasformate in assi rotanti (d,q). Controllo a $id = 0$ (caso isotropo). Effetto sul controllo dell'eventuale anisotropia rotorica. Controllo vettoriale di corrente. Limitazione di tensione. Tecniche di modulazione per il controllo vettoriale. *Resolver* e relativa demodulazione.

8. *Controllo a orientamento di campo del motore a induzione.* [8 ore]

Deduzione delle equazioni in assi generici. Principio del controllo a orientamento di campo. Controllo diretto e indiretto, impiego di osservatori di flusso. Implementazione del controllo vettoriale e prerogative di deflussaggio.

9. *Motori sincroni a riluttanza.* [6 ore]

Particolarità costruttive. Equazioni in assi d,q . Controllo di corrente in assi fissi ed in assi rotanti, prestazioni caratteristiche.

10. Confronto applicativo tra le diverse motorizzazioni in corrente alternata: densità di coppia, deflussibilità, costo. [4 ore]

LABORATORIO

Verranno effettuate dimostrazioni pratiche del funzionamento di azionamenti in corrente alternata per asse e per mandrino. Saranno utilizzati azionamento impiegati industrialmente, con visualizzazione dei principali segnali di stato.

BIBLIOGRAFIA. Essendo il corso di carattere decisamente applicativo, non è individuabile alcun testo che possa essere ritenuto di riferimento. Verranno fornite indicazioni per eventuali testi ausiliari, a seconda delle esigenze specifiche.

H0400 Azionamenti per la trazione elettrica

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

Docente: Gaetano Pessina

Il corso ha come scopo la presentazione e l'approfondimento delle tematiche elettriche inerenti alle strutture dei sistemi di azionamento e controllo dei veicoli a trazione elettrica, a guida vincolata ed a guida libera. Sono esaminate in particolare applicazioni ferroviarie, tradizionali ed innovative; applicazioni di trasporto urbano tradizionali ed innovative, sia per tipo di trazione e sostentamento, quanto per tipo di azionamento, sino alle applicazioni a guida automatizzata.

REQUISITI. Possono frequentare il corso tutti gli allievi ingegneri con conoscenze di *Elettrotecnica ed Applicazioni industriali dell'elettrotecnica.*

PROGRAMMA

1. Trazione su rotaia con linea di contatto superiore a 3 kV; applicazioni ferroviarie europee con distribuzione della linea di contatto in AC e DC.
2. Architetture dei sistemi di trazione equipaggiati con azionamenti ad *inverter* e motori asincroni; ad *inverter* e motori sincroni; a *chopper* e motori in corrente continua, sia per alimentazioni in DC che AC con trasformatore a bordo del veicolo.
3. Applicazioni all'alta velocità: esame delle realizzazioni europee, architetture di azionamento, sistemi di frenatura.
4. Trazione su rotaia con linea di contatto inferiore ad 1 kV; applicazioni metropolitane; *people mover*, tranviarie.
Vengono trattate le architetture dei sistemi di trazione equipaggiati con azionamenti ad *inverter* di corrente e di tensione e motori asincroni; a *chopper* e motori in corrente continua; ad *inverter* e motore lineare induttore corto asincrono; ad *inverter* e motore lineare sincro ad induttore distribuito. Verrà trattato il problema della frenatura elettrica con recupero di energia in rete e con dissipazione a bordo.
5. Trazione su gomma con sorgente da accumulatori e soluzioni ibride. Equipaggiamenti di trazione con azionamenti ad *inverter* e motori sincroni ed asincroni; con azionamenti a *chopper* e motori in corrente continua. La ruota motorizzata; convertitori AC/DC per la carica degli accumulatori di bordo. Il veicolo ibrido: generazione a bordo dell'energia elettrica. Il problema dell'autonomia; la frenatura a recupero.
6. Cenni sulla propulsione navale elettrica, con esame delle principali applicazioni in campo militare e civile.

ESERCITAZIONI

Vengono, durante il corso, sviluppate dagli allievi, personalmente, due tesine: sono vere e proprie elaborazioni di studi di progetto o di ricerca su argomenti di interesse di settore sviluppati su documentazione aggiornata, tratta da riviste e congressi, fornite dal docente.

BIBLIOGRAFIA. Appunti dal testo delle lezioni del corso (in via di pubblicazione).

ESAME. L'esame si svolge sulla discussione delle tesine sviluppate nelle esercitazioni e sugli argomenti trattati nel corso. Non è prevista prova di esame scritta.

P0450 Biomeccanica

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

Docente: Cristina Bignardi

Il corso ha lo scopo di fornire agli allievi una panoramica delle problematiche della biomeccanica e delle principali metodologie numeriche e sperimentali utilizzate in questa disciplina. Vengono approfondite tematiche riguardanti i materiali biologici e di sostituzione e il comportamento del corpo umano in particolare in risposta alle azioni dinamiche.

REQUISITI. Concetti fondamentali di *Meccanica razionale*, *Meccanica applicata alle macchine*, *Scienza delle costruzioni* (a coloro che non hanno frequentato tali corsi verrà fornito materiale didattico all'inizio del corso).

PROGRAMMA

Introduzione alla biomeccanica. [8 ore]

Origini e problematiche della biomeccanica. Richiami di fisiologia.

Metodi sperimentali utilizzati in biomeccanica. [6 ore]

Tecniche, attrezzature e metodologie di rilevazione dei dati meccanici relativi al corpo umano. Metodi per l'analisi delle tensioni e delle deformazioni in strutture biologiche.

Materiali. [28 ore]

Caratterizzazione di materiali biologici (osso, muscoli, cartilagine, pelle). Biomateriali: caratteristiche, biocompatibilità, problematiche.

Biomeccanica cardiocircolatoria. [4 ore]

Resistenza del corpo umano alle azioni dinamiche. [4 ore]

Interazione uomo - veicolo. [4 ore]

Modelli matematici e modelli sperimentali. Studio in condizioni normali per la valutazione del *comfort*. Studio in condizioni d'urto per la valutazione del danno.

Analisi del movimento. [8 ore]

Tecniche sperimentali per l'analisi del movimento umano. Modelli matematici per la simulazione del movimento

ESERCITAZIONI

È prevista la suddivisione in squadre per la realizzazione di relazioni inerenti le esercitazioni condotte in laboratorio e per la stesura di una tesina sulla base di materiale bibliografico fornito dal docente.

Caratteristiche meccaniche osso. [6 ore]

Muscoli. [2 ore]

Modelli segmentali apparato locomotore e analisi del movimento. [5 ore]

Biomeccanica cardiocircolatoria. [2 ore]

Biomateriali. [4 ore]

Visita al Centro Sicurezza Fiat. [4 ore]

Svolgimento tesine. [10 ore]

BIBLIOGRAFIA. Dispense fornite dal docente.

ESAME. L'esame consiste in una prova scritta ed una verifica orale. La valutazione finale tiene conto anche della partecipazione dimostrata, della qualità delle relazioni relative alle esercitazioni e della tesina.

P0920 Costruzione di autoveicoli

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+3 (ore settimanali)
 Docente: Alberto Morelli (collab.: Patrizio Nuccio, Andrea Tonoli)

Il programma riguarda la descrizione funzionale dei principali organi che costituiscono l'autotelaio, ad eccezione del motore che è trattato in corsi specifici. Inoltre, anche la carrozzeria con il telaio sono oggetto di insegnamento separato (*Progetto delle carrozzerie*). In particolare viene approfondito lo studio della ruota con pneumatico e il suo collegamento al telaio e al motore (mozzi, freni, sospensioni, sterzo, trasmissione).

REQUISITI

Meccanica razionale ed applicata. Costruzione di macchine. Disegno meccanico.

PROGRAMMA

Definizione di autoveicolo e sue categorie.

Organi principali e loro suddivisione. Schema funzionale.

Sistemi di riferimento, terminologia e simbologia.

Ruote. Origine e principali giustificazioni della adozione della ruota pneumatica negli autoveicoli. Costituzione del cerchio e sue varie conformazioni. Costituzione del pneumatico, tipi di struttura. Caratteristiche funzionali. Azioni trasmesse al suolo in funzione della deformazione. Modello meccanico. Rotolamento.

Aderenza ruota – suolo. Aderenza per adesione e per isteresi. Pressioni nell'orma di contatto.

Mozzi per ruote folli e motrici. Evoluzione dei cuscinetti di rotolamento impiegati.

Sospensioni. Modelli funzionali. Elementi rigidi e deformabili. Giunzioni e articolazioni. Ammortizzatori a gas e a doppia camera. Ammortizzatori misti e regolabili. Cinematismo delle sospensioni. Introduzione dei gradienti cinematici e classificazione delle sospensioni in funzione di essi. Cinematica trasversale e longitudinale. Sospensioni a centri virtuali. Sospensioni a ruote indipendenti. Principali tipi di sospensioni adottati e loro diversificazione in funzione dell'impiego. Sospensioni *multilink*. Cenni sulle sospensioni autolivellanti e attive.

Sterzo. Sterzata e sterzata. Sterzata cinematica e dinamica. Geometria della sterzata. Cinematismi di accoppiamento delle ruote e del comando centralizzato: Scatole guida. Servosterzi. Sterzata integrale (4WS): principali esempi realizzativi.

Trasmissione del moto dal motore alle ruote. Campo ideale di potenza disponibile. Schemi di trasmissione. Frizione. Cambi ad ingranaggi. Cambi automatici e continui. Sincronizzatori e *power shift*. Rinvio fisso. Ripartitori di coppia e "differenziali". Ripartitori frenati, bloccabili "autobloccanti". Ripartitori speciali.

Freni a disco e a ganasce. Schemi funzionali ed effetti termici. Sistemi di ripresa dei giochi. Correttori di frenata. Servofreni.

Cenni sui sistemi antibloccaggio.

ESERCITAZIONI

Disegno di un nodo di una scocca e particolari di carrozzeria.
 Disegno e calcoli di massima di una sospensione.
 Calcolo dello sforzo sullo sterzo

BIBLIOGRAFIA

A. Morelli, *Costruzioni automobilistiche*, ISEDI Mondadori.
 C. Deutsch, *Dynamique des véhicules routiers*, ONSER, Parigi.
 Numerose monografie citate a lezione, disponibili per la consultazione nella biblioteca del dipartimento di Energetica.

ESAME. Esame scritto consistente nella rappresentazione a mano libera di un componente in forma costruttiva. Esame orale successivo allo scritto tendente all'accertamento della formazione concettuale della materia d'insegnamento.

P0980 Costruzione di materiale ferroviario

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

Il corso intende fornire le nozioni occorrenti per l'applicazione dei principi dell'ingegneria meccanica nella costruzione dei rotabili ferroviari, illustrando a tal fine le caratteristiche dei rotabili in esercizio ed in via di realizzazione.

PROGRAMMA

Generalità, criteri di classificazione del materiale rotabile, scartamento, sagoma limite, pesi assiali, accoppiabilità dei veicoli e dei loro impianti. [8 ore]

Ruote, assili, boccole e dispositivi guida – boccola, sospensioni primarie e secondarie, molle, carrelli. [8 ore]

Ganci, respingenti ed accoppiatori, casse e telai, cenni sulle condizioni convenzionali di calcolo e sulle tecniche di calcolo di progetto e sui metodi di verifica sperimentali. [6 ore]

Freni e frenatura ferroviaria: funzione degli impianti, requisiti ideali, impianti esistenti: a vuoto, diretto moderabile, automatico a condotta semplice; elementi fondamentali dell'impianto automatico continuo: distributore, serbatoi ausiliari, cilindro freno e timoneria; l'equilibrio della ruota frenata: trasformatori di pressione, dispositivi vuotocarico, dispositivi anti-pattinamento; gli impianti di recente introduzione, con condotta generale e condotta principale e gli impianti elettropneumatici. [10 ore]

Il fenomeno del cabraggio e la trazione bassa. [4 ore]

Trazione elettrica: generalità sui sistemi, caratteristiche meccaniche dei motori elettrici a corrente continua, sistemi di regolazione tradizionali e con applicazione dell'elettronica di potenza. [6 ore]

Trasmissioni meccaniche per locomotive ed automotrici con asse dei motori trasversali e longitudinali. [6 ore]

Trazione Diesel: tipi di motori e caratteristiche di installazione, valutazione della potenza secondo criteri stabiliti dall'Union Internationale des Chemins de fer; trasmissioni idromeccaniche, idrauliche ed elettriche. [8 ore]

Cenni sulla qualità di marcia, sull'indice di confort (W_z del dott. Sperling), sul comportamento dinamico del veicolo e l'interazione ruota - rotaia. [4 ore]

Cenni su problemi specifici dei veicoli passeggeri: accesso, arredamento, illuminazione, riscaldamento, insonorizzazione, ventilazione e climatizzazione. [4 ore]

ESERCITAZIONI

Illustrazione dei concetti di gruppo di rotabili, con relative esemplificazioni.

Illustrazione delle forze intervenenti nella meccanica del movimento su rotaia, con indicazione numerica dell'entità delle varie forze, ed applicazione per la valutazione delle prestazioni di un rotabile.

Illustrazione di argomenti specifici dei problemi della frenatura ferroviaria: significato e valutazione della massa frenata (già peso frenato), regimi di frenatura passeggeri e merci, esame più dettagliato della struttura e del funzionamento di alcuni elementi degli impianti frenanti (dispositivi automatici vuoto - carico, dispositivi automatici di ripresa del gioco).

Valutazioni numeriche sul cabraggio delle locomotive, analisi di elementi di trasmissioni, ecc.

Qualora sia possibile al docente organizzare conferenze o incontri con qualificati ingegneri operanti nel settore dell'ingegneria ferroviaria, nei campi di competenza dell'ingegnere meccanico, tali conferenze o incontri sostituiranno altrettante ore di normale esercitazione.

BIBLIOGRAFIA

Appunti dalle lezioni, integrati dal materiale illustrativo fornito dal docente.

ESAME. È prevista soltanto una prova orale, alla quale l'allievo presenterà anche gli elaborati relativi alle esercitazioni proposte durante la frequenza del corso, che costituiranno elemento secondario di valutazione.

P1040 Costruzioni biomeccaniche

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

Docente: Pasquale Calderale (collab.: C. Bignardi)

Il corso ha lo scopo di fornire la conoscenza delle più importanti applicazioni delle metodologie di progettazione e della meccanica strutturale alla "macchina umana", con particolare riferimento alle parti di sostituzione.

REQUISITI. *Meccanica razionale, Meccanica applicata alle macchine, Scienza delle costruzioni, Biomeccanica.*

PROGRAMMA

Introduzione alla progettazione di elementi protesici e di sintesi. [14 ore]

Biomeccanica ortopedica. [20 ore]

Protesi articolari portanti e non (anca, ginocchio, caviglia, spalla, gomito): descrizione, problematiche, metodi di progettazione.

Corsetti per la correzione delle deformità della colonna vertebrale.

Arti artificiali attivi: problemi funzionali, strutturali, e di accoppiamento con il corpo umano.

Biomeccanica cardiocircolatoria. [12 ore]

Protesi valvolari biologiche e meccaniche.

Attrezzature per l'assistenza cardiocircolatoria.

Cuore artificiale: problematiche, metodi di controllo e problemi strutturali.

Biomeccanica odontostomatologica. [4 ore]

Modelli matematici del sistema odontostomatologico.

Protesi rimovibili: criteri di progettazione e metodi di valutazione.

Biomeccanica dello sport. [4 ore]

Scopi, metodi ed esempi di applicazione.

Altri argomenti variabili di anno in anno. [6 ore]

ESERCITAZIONI

È prevista la suddivisione in squadre per la realizzazione di esercitazioni in laboratorio, relativamente alle quali si richiede una relazione, e per la stesura di una tesina sulla base di materiale bibliografico fornito dal docente.

Fotoelasticità applicata alle strutture scheletriche. [4 ore]

Analisi videodensitometrica di lastre radiografiche. [4 ore]

Costruzione di un modello bidimensionale agli elementi finiti di un sistema struttura biologica – impianto protesico. [17 ore]

Esercitazioni varie in aula. [4 ore]

Biomeccanica cardiocircolatoria. [2 ore]

Visita ad una officina ortopedica. [4 ore]

Visita a un'azienda biomedicale (Sorin o altre). [Una giornata]

BIBLIOGRAFIA. Dispense fornite dal docente.

ESAME. Prova scritta seguita da una verifica orale. La valutazione finale tiene conto della partecipazione dimostrata e della qualità delle relazioni relative alle esercitazioni svolte e della tesina.

P1070 Costruzioni idrauliche

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

Docente: Luigi Butera

Il corso si propone di fornire adeguate basi per la soluzione dei più importanti problemi riguardanti la migliore fruizione delle risorse idriche. Verranno trattati sia gli aspetti tecnici sia quelli economici.

REQUISITI. *Scienza delle costruzioni, Idraulica, Idrologia tecnica.*

PROGRAMMA

Opere per la regolazione delle portate dei corsi d'acqua naturali.

Generalità. Dighe di sbarramento.

Dighe murarie. [15 ore]

Dighe a gravità: ordinarie, a speroni, a vani interni. Dighe a volta: ad arco, ad arco-gravità. Dighe a volta o solette, sostenute da contrafforti.

Dighe di materiali sciolti. [10 ore]

Dighe di terra omogenee, di terra epietrame, zonate, con nucleo di terra per la tenuta, di terra permeabile o pietrame, con manto o diaframmi di tenuta di materiali artificiali.

Opere per il funzionamento di un lago artificiale. [4 ore]

Opere di presa, scaricatori di superficie, scaricatori in pressione.

Opere per la derivazione delle acque. [6 ore]

Generalità. Traverse di derivazione di tipo fisso. Traverse di derivazione di tipo mobile.

Tipi diversi di paratoie. Opere complementari derivazione delle acque a mezzo di traverse fisse o mobili. [10 ore]

Opere per il trasporto e l'utilizzazione delle acque. [15 ore]

Generalità. Opere di adduzione a pelo libero ed in pressione. Bacini di carico. Pozzi piezometrici. Condotte forzate. Opere di restituzione.

Metodi numerici nelle costruzioni idrauliche. [10 ore]

ESERCITAZIONI. Verranno proposti temi eminentemente applicativi relativi alle principali strutture proposte, nonché relativi a significativi aspetti economici. Le esercitazioni saranno integrate, possibilmente, da visite ad impianti.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento: Contessini, *Dighe e traverse.*

Testo ausiliario: Arredi, *Costruzioni idrauliche.*

ESAME. Orale, con esame degli elaborati svolti a esercitazione.

P 1080 Costruzioni in acciaio

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali); 60+30 (nell'intero periodo)

Docente: Vittorio Nascè

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

Il corso è successivo a quelli di *Scienza* e di *Tecnica delle costruzioni* e si propone quale corso applicativo, per la conoscenza delle tipologie strutturali e metodologie specifiche di progetto e verifica delle costruzioni in acciaio.

REQUISITI. Nozioni propedeutiche al corso sono in particolare quelle attinenti le verifiche di resistenza e stabilità delle aste a sezione metallica.

PROGRAMMA

Il corso inizia con un inquadramento storico della costruzione metallica e del suo sviluppo tipologico, in rapporto alla evoluzione dei materiali - ghisa, ferro, acciaio - alla teoria delle strutture ed alle tecniche costruttive.

Segue una parte dedicata agli acciai, agli elementi costruttivi ed ai loro collegamenti; in tale parte sono anche considerati gli elementi in lamiera piegata a freddo, quelli composti di acciaio e calcestruzzo, le funi ed i relativi dispositivi di vincolo.

Nella terza parte del corso si trattano i problemi di sicurezza specifici delle costruzioni in acciaio; si esaminano il comportamento elastoplastico, i diversi aspetti di instabilità dell'equilibrio, i problemi di rottura fragile e di rottura per fatica.

Nella parte conclusiva del corso si analizzano i principali tipi di strutture che intervengono nella costruzione di edifici multipiano, capannoni industriali e grandi coperture.

BIBLIOGRAFIA

G. Ballio, F.M. Mazzolani, *Strutture in acciaio*, ISEDI, Milano.

G. Ballio, S. Caramelli, V. Nascè, *Teoria delle costruzioni in acciaio. Strutture in acciaio per edifici*, in *Manuale di ingegneria civile*, vol. 2, Zanichelli, ESAC, Bologna.

P1165 Criogenia + Tecnica del freddo

(Corso integrato)

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+3+1 (ore settimanali)
 Docente: Armando Tuberga

Scopo del corso è di fornire allo studente i criteri necessari a comprendere il funzionamento degli impianti che lavorano a temperature inferiori all'ambiente; con l'analisi exergetica si evidenziano le situazioni costruttive e funzionali che favoriscono i fenomeni irreversibili e il conseguente maggior consumo di energia pregiata. Nella tecnica del freddo si studiano i cicli frigoriferi a compressione di vapore, ad assorbimento, a gas e termoelettrici. Nella criogenia si illustrano i processi di liquefazione e separazione dei gas, e la conservazione dei prodotti liquefatti.

REQUISITI. *Fisica tecnica, Analisi matematica, Fisica.*

PROGRAMMA

1. Problemi e applicazioni della tecnica frigorifera e criogenica. Cenni sullo sviluppo storico del freddo.
2. Concetto generalizzato di exerzia associata a vari tipi di energia. Rendimenti exergetici di impianti e componenti.
3. Cicli frigoriferi a compressione di vapore a semplice e doppia compressione, in cascata; analisi delle perdite exergetiche.
4. Cicli frigoriferi ad assorbimento; proprietà della miscela acqua-ammoniaca; assorbimento del vapore frigorifero e separazione con distillazione frazionata; bilancio energetico ed exergetico.
5. Cicli frigoriferi a gas, Stirling rigenerativo, a refrigerazione magnetica, a diluizione; termoelettricità; refrigerazione termoelettrica.
6. Proprietà dei materiali a basse temperature.
7. Liquefazione dei gas; macchine di Linde, Claude, Heylandt, Kapitza; produzione di gas liquefatto o di freddo.
8. Separazione di miscele gassose; lavoro minimo teorico; rettifica semplice e doppia; separazione dei gas rari dall'aria; purificazione dei gas.
9. Bilanci exergetici e particolari costruttivi di compressori, scambiatori, rigeneratori, espansori, valvole; isolamento termico dei contenitori criogenici con elementi di tecnica del vuoto; impianti di conservazione e trasporto di gas liquefatto.

ESERCITAZIONI

1. Ciclo frigorifero a compressione di vapore, monostadio; calcolo delle perdite exergetiche dei singoli componenti ripartite tra perdite per attrito e perdite termiche; rappresentazione e verifica nei piani (T,s) e (h,s) .
2. Ciclo frigorifero a vapore con doppia compressione e doppia espansione; bilanci di I e II principio.
3. Frigorifero ad assorbimento acqua ammoniaca; diagrammi entalpia-concentrazione ed entropia-concentrazione.
4. Liquefattore e refrigeratore Linde; bilancio energetico ed exergetico dei componenti; diagramma di scambio termico. Variante con frigorifero ausiliario.
5. Liquefattore e refrigeratore Claude, trattato come al punto precedente.
6. Impianto di separazione aria; colonna a doppia rettifica per ossigeno ed azoto.
7. Contenitore per ossigeno liquido; verifiche dell'isolamento termico; verifica meccanica di stabilità per i cilindri esterno ed interno.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

E. Bonauguri, D. Miari, *Tecnica del freddo*, Hoepli, Milano, 1977.R. Barron, *Cryogenic systems*, McGraw-Hill.

Testi ausiliari:

L. Borel, *Thermodynamique et énergétique*, Presses Polytechn. Romandes, Lausanne, 1984.**P1700 Elettrometallurgia**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali); 56+28 (nell'intero periodo)

Docente: Bruno De Benedetti

Il corso ha lo scopo di fornire i principi impiantistici delle varie tecnologie metallurgiche che utilizzano elettricità come fonte energetica primaria. In tale ambito si porrà particolarmente l'accento sulle problematiche relative alla conduzione degli impianti. Il corso si rivolge a studenti con sufficiente preparazione di base nell'ambito della metallurgia di processo e dell'elettrotecnica. Essendo un corso di tipo applicativo l'estensione degli argomenti potrà variare in modo significativo rispetto all'impegno previsto nel programma in dipendenza di opportuni aggiornamenti della tecnologia.

PROGRAMMA

1. Trasformazione dell'energia elettrica in calore (per resistenza, per arco, per induzione) e relativo trasferimento alla carica metallica dei forni. Classificazione dei principali tipi di forni metallurgici. [10 ore]
2. Acciaieria elettrica: descrizione dei flussi energetici e di materiale. Potenza attiva e reattiva, diagramma circolare del forno elettrico. Condizioni di marcia dei forni ad arco: fusione della carica, scorifica, affinazione, colata. Metallurgia in siviera con e senza apporto di energia, trattamenti sotto vuoto ed in gas inerte. Colata in lingottiera. Colata continua. *Stirring* elettromagnetico in siviera e in colata continua. Rifusione dei lingotti: in forno ad arco sotto vuoto o sotto scoria elettroconduttrice. [20 ore]
3. Impiego dei principali forni elettrici ad induzione in fonderia. Ghisa: fusione di rottame, omogeneizzazione delle leghe provenienti dal cubilotto. [6 ore]
4. Forni elettrolitici per la produzione di alluminio primario. Confronto energetico col ciclo di raffinazione dei rottami. [8 ore]
5. Rassegna di processi particolari di interesse elettrometallurgico con particolare riguardo a: saldatura; processi a corrente costante e tensione costante, applicazioni alla saldatura dei principali materiali di interesse ingegneristico. Trattamenti termomeccanici utilizzando il riscaldamento induttivo. [12 ore]

ESERCITAZIONI. Le esercitazioni integrano le lezioni fornendo approfondimenti relativi al dimensionamento ed alla verifica dei principali tipi di impianto.

BIBLIOGRAFIAL. Di Stasi, *Forni elettrici*, Patron, Bologna, 1976.J.H. Brunklaus, *I forni industriali*, Tecniche ET, Milano, 1985.H.B. Cary, *Modern welding technology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1979.

ESAME. È previsto un solo accertamento finale tramite un colloquio orale. Il calendario viene stabilito in occasione di ogni appello in modo da favorire la massima flessibilità delle prove nel rispetto delle regole di Facoltà.

P1710 Elettronica applicata

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+3+1 (ore settimanali)
 Docente: Maurizio Zamboni

Il corso intende fornire i principi base dell'elettronica con particolare riferimento alle applicazioni dei dispositivi, dei componenti elettronici e dei sistemi elettronici soprattutto in relazione alle loro applicazioni in ambiente industriale.

REQUISITI. Sono propedeutiche le nozioni del corso di *Elettrotecnica*.

PROGRAMMA

Richiami di elettrotecnica. Partitore, equivalente di Thévenin e Norton. Calcolo simbolico. Trasformata di Laplace.

Funzione di rete. Stabilità. Piano di Bode. Decibel. Diagrammi di Bode del modulo e della fase di poli e zeri del primo ordine. Esempi di curva di risposta. Banda passante.

Definizione del doppio bipolo. Amplificatori ideali di tensione, corrente, transresistenza e transconduttanza. Cascata di doppi bipoli.

Risposta al transitorio di reti RC. *Tilt* e tempo di salita. Uso dell'onda quadra per lo studio degli amplificatori.

Introduzione ai semiconduttori. La giunzione *pn*. Caratteristica del diodo. Zona di *breakdown*. Diodo Zener.

Circuito del diodo per piccolo e grande segnale. Circuiti limitatori e formatori. Voltmetri di cresta. Raddrizzatori ad una e doppia semionda. Ponte di diodi. Regolatori con Zener.

Comportamento termico dei dispositivi. Transistore bipolare. Funzionamento in linearità, saturazione e interdizione. SOA.

Polarizzazione del transistore. Modello per piccolo segnale. Stadi CC e CE. Darlington. *Derive*. Amplificatori per alternata e continua.

Stadio differenziale. *Offset* e *derive*. V_{off} , I_{bias} e I_{off} . Accenni ai JFET e MOSFET.

Operazionale. Modello per modo comune e differenziale. *Offset* e *derive*. Amplificatori di tensione e corrente. Effetti della non idealità di A_d . Impedenza di ingresso ed uscita.

Amplificatori di transresistenza e di tensione invertente. Sommatori, integratori e derivatori. Amplificatori di transconduttanza e di corrente. Reazione negativa. Stabilità nel dominio del tempo e della frequenza.

Studio della stabilità in sistemi reazionati. Margine di fase e di guadagno. Calcolo del guadagno. Compensazione a polo dominante e a polo-zero. Considerazione sugli operazionali commerciali.

Comparatori di soglia senza e con isteresi. Generatori di forme d'onda. Astabile, generatore di onda triangolare e sinusoidale.

Regolatori di tensione regolabili e fissi. Regolatori a tre terminali (78XX). Alimentatori *switching step-up, step-down e fly-back*.

Sistemi di acquisizione dati. Teorema del campionamento. Quantizzazione.

Convertitori DAC. DAC a resistenze pesate. DAC a rete R-2R, potenziometrici, a capacità commutate. Analisi degli errori.

Convertitori ADC. Caratteristiche ed errori. ADC ad inseguimento, ad approssimazioni successive, *flash*, a singola e doppia rampa.

Sample and hold. Caratteristiche ed errori. Circuiti con due operazionali.

Segnali logici. Livelli di tensione e di correnti. *Fan out*, compatibilità. Tempo di propagazione. Consumo. Logiche TTL e CMOS.

Stadi di uscita *totem-pole, open collector e three state*. Blocchi combinatori (MPX, ALU, *decoder, multiplier*). FF-SR. Circuiti sequenziali.

Circuiti sincroni. FF JK e D. Sincronizzazione ed orologio (*clock*). PET, NET, *latch*. Progetto di contatori, *shift*, macchine a stati.

(Memorie (ROM, RAM, PROM, EPROM, ...)).

ESERCITAZIONI

Reti elettriche, funzioni di trasferimento.

Analisi del transitorio, risposta all'onda quadra.

Circuiti con diodi (limitatori, formatori, circuiti di protezione).

Circuiti con diodi Zener (regolatori).

Operazionali: lettura e commento delle caratteristiche.

Operazionali: *offset e derive*, dimensionamento dei componenti esterni.

Operazionali: circuiti base (amplificatori, sommatore, filtri).

Operazionali: circuiti non lineari (diodo ideale, raddrizzatori).

Generatori di forma d'onda.

Alimentatore stabilizzato 78xx.

Famiglie logiche (lettura caratteristiche, interfacciamento, progetto di circuiti elementari).

LABORATORIO

Uso di alcune apparecchiature elettroniche (oscilloscopio, generatore di segnale, alimentatore).

Comportamento di circuiti RC, rivelatori di cresta.

Circuiti con operazionali (amplificatori, sommatore, filtri).

Famiglie logiche (transcaratteristica, tempi di propagazione, interfacciamento).

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Non esiste un testo che copra tutti gli argomenti del corso al livello richiesto.

Testi ausiliari:

T.F. Bogart, *Electronic devices and circuits*, Merrill-Macmillan, 1993.

E. Cuniberti [et al.], *Elettronica : componenti e tecniche circuitali*, Petrini, 1993.

J. Millman, A. Grabel, *Microelectronics*, McGraw-Hill, 1987.

ESAME. Prova scritta di 40 minuti relativa a semplici progetti usando le metodologie studiate ad esercitazione. Prova orale sulla teoria.

P 1810 Energetica

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+3 (ore settimanali)

Docente: Michele Cali Quaglia

Il corso si propone di fornire gli strumenti teorici per poter sviluppare l'analisi energetica di tutti quei sistemi nei quali si operano trasformazioni tra le diverse forme di energia. La prima parte è dedicata al ripasso della termodinamica elementare ed all'approfondimento di alcuni argomenti particolari tra i quali l'analisi exergetica dei sistemi dei processi con reazioni chimiche di combustione e della radiazione elettromagnetica. Nella seconda parte si studiano con la teoria della termoeconomia le implicazioni di tipo economico-finanziario della applicazione della termodinamica ai sistemi energetici. Nell'ultima parte si analizzano le fonti energetiche, gli usi finali dell'energia e si espone la situazione degli approvvigionamenti energetici per il mondo intero e per l'Italia.

REQUISITI. *Fisica tecnica, Macchine.*

PROGRAMMA

Cenni storici.

Breve storia della termodinamica e del concetto di energia.

Richiami di termodinamica.

Definizioni fondamentali. Grandezze primitive e derivate. Stato, processi e trasformazioni. Equazioni di stato. La temperatura. Lavoro. Calore e funzione di accumulazione. Equazioni di stato di alcuni sistemi semplici. Il gas ideale. I fluidi reali e la legge degli stati corrispondenti. I cambiamenti di stato. Rappresentazioni e diagrammi termodinamici. Le equazioni empiriche (Van der Waals, Dieterici, ecc.) e del viriale. Le equazioni per la rappresentazione dei fenomeni di attrito viscoso. Il lavoro. Il lavoro nei sistemi aperti. Il calore e la calorimetria. Definizioni ed equazioni fondamentali; le trasformazioni adiabatiche. Il primo principio della termodinamica. Enunciato. Energia interna ed entalpia. I sistemi aperti. Il secondo principio. Cenni storici. Il rendimento delle macchine termiche. Reversibilità. Teorema di Carnot e rendimento massimo di un ciclo. La diseuguaglianza di Plank. Entropia. Cenni di termodinamica delle reazioni chimiche. Definizioni. Miscela di gas ideali. Le reazioni chimiche. Condizioni per l'equilibrio. La coordinata di reazione. Reazioni chimiche dei gas ideali. Le trasformazioni di Joule e di Joule-Thomson. Le equazioni fondamentali di conservazione in forma differenziale ed integrale. Massa, quantità di moto, energia ed entropia.

La teoria dell'exergia.

L'evoluzione dei sistemi verso l'equilibrio. La biosfera e lo stato di riferimento. Il teorema dell'energia utilizzabile o exergia. Le equazioni per i sistemi chiusi ed aperti. Il lavoro massimo. Il rendimento generalizzato. Analisi exergetica di processi semplici. Compressione ed espansione dei fluidi. Laminazione isoentalpica. Miscelamento e separazione di correnti fluide. Scambio di calore con una differenza finita di temperatura. Trasmissione di calore con attrito in un condotto. Combustione isocora ed isobara. Analisi exergetica di alcuni impianti fondamentali. Scambiatori di calore. Condensatori. Impianti frigoriferi. Impianti a gas per la produzione combinata di calore e lavoro. Impianti a vapore per la produzione combinata di calore e lavoro. Impianti di riscaldamento e cogenerazione urbani.

L'energetica industriale e la termoeconomia.

La rappresentazione dei sistemi energetici naturali ed industriali. Le equazioni di bilancio di energia e di valore. Il costo operativo dei beni. I criteri di ottimizzazione termoeconomico. I metodi di sostituzione.

Le fonti energetiche.

L'energia primaria. Le fonti rinnovabili. Le fonti non rinnovabili. Le riserve. L'energia elettrica. Idroelettricità. Energia termica. Energia nucleare.

Il sistema energetico planetario.

I consumi energetici negli ultimi decenni. I fattori che influenzano i consumi. La struttura dei consumi. Le previsioni di fabbisogno per il futuro.

Il sistema energetico italiano.

I consumi energetici negli ultimi decenni. I fattori che influenzano i consumi. La struttura dei consumi. Le previsioni di fabbisogno per il futuro.

Richiami di nozioni di matematica finanziaria.

Il valore e il costo di un bene. Interesse. Redditività. Tassi di interesse e di sconto. Formule finanziarie. L'ammortamento. L'inflazione. La valutazione degli investimenti. Il metodo dei flussi di cassa. L'analisi costi - benefici.

L'impatto ambientale indotto dagli usi energetici.

Cenni ai metodi di valutazione. La normativa e le leggi vigenti.

ESERCITAZIONI

Esercizi svolti in aula sui temi trattati a lezione.

Termodinamica: calcolo completo dei cicli termodinamici per una centrale di cogenerazione a gas (ciclo Joule) e a vapore (ciclo Rankine in contropressione).

Sviluppo completo della analisi energetica, exergetica e termoeconomica di un caso reale per il quale gli allievi devono acquisire i dati, ordinarli, analizzarli e sviluppare uno studio di fattibilità di soluzioni alternative a quelle rilevate.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento: Appunti delle lezioni e materiale distribuito dal docente.

Testi ausiliari:

A. Cavallini, L. Mattarolo, *Termodinamica applicata*, CLEUP, Padova, 1990.

T.J. Kotas, *The exergy method of thermal plant analysis*, Butterworths, London, 1985.

E. Pedrocchi, *Previsioni di fabbisogno energetico per l'Italia*. - In: *La termotecnica*, giugno 1993, p. 25-29.

Previsioni di fabbisogno energetico per il mondo. - In: *La termotecnica*, maggio 1993, p. 21-28.

M. Silvestri, *Il futuro dell'energia*, Bollati Boringhieri, 1989.

ESAME. L'esame consiste nella esposizione della monografia preparata nel corso dell'anno e da un colloquio orale durante il quale l'allievo è tenuto a rispondere sugli argomenti di teoria trattati nelle lezioni.

P1870**Esercizio dei sistemi di trasporto**

Anno: periodo 5:1

Docente: da nominare

[Programma 1995/96 non ricevuto in tempo per la stampa]

P2050 Fisica superiore

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 50+30 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Pier Paolo Delsanto

Il corso si propone di trattare con rigore matematico, ma allo stesso tempo riducendo a un minimo la parte formale, gli aspetti fisici di una vasta fenomenologia, che sta alla base di molte tecniche avanzate di misure e di caratterizzazione di materiali. Vengono inoltre sviluppate varie applicazioni d'interesse industriale e medico (per es. nel campo delle prove non distruttive e delle tecniche tomografiche). Sia per le nozioni teoriche fornite che per le applicazioni sviluppate, il corso è consigliabile per gli studenti del 4. e 5. anno di Ingegneria meccanica con orientamenti: biomedico, produzione, metrologico e strutture.

Il corso consiste di quattro parti, approssimativamente di uguale lunghezza, cioè ciascuna delle quali comprendente circa venti ore fra lezioni ed esercitazioni. La prima parte "teorica" è dedicata allo studio della propagazione di onde, in particolare ultrasuoniche, e alle proprietà elastiche dei materiali. Si parte da una trattazione rigorosa della descrizione euleriana e lagrangiana nella meccanica del continuo e si procede, cercando però di ridurre a un minimo la parte formale, fino ad ottenere i risultati più importanti in vista delle applicazioni.

Nella seconda parte "numerica" si descrivono tecniche di calcolo di particolare attualità, quali la simulazione della propagazione di onde e impulsi mediante *parallel processing* e le tecniche più recenti per la rappresentazione e visualizzazione dei risultati.

La terza parte "applicativa" utilizza i risultati e le tecniche descritte nelle prime due parti del corso per illustrare applicazioni, in particolare degli ultrasuoni, in campo medico e industriale. Vengono, per esempio, discusse tecniche per la caratterizzazione di provini e di elementi strutturali. In particolare si studia l'effetto acustoelastico e la sua applicazione per la determinazione di tensioni applicate e residue e tessitura. Un particolare rilievo viene dato alle tecniche ecografiche e tomografiche, sia radiografiche che acustiche, con applicazione in campo sia medico che industriale.

Infine, la quarta parte "seminariale" verte su argomenti che possono variare di anno in anno, sia per ragioni di attualità (nuovi sviluppi), sia per l'interesse specifico degli studenti. Lo scopo di questa quarta parte è d'incoraggiare gli studenti, per es. mediante la elaborazione di "tesine" o di piccole "ricerche", a esaminare applicazioni degli argomenti trattati nel corso che possano risultare utili dal punto di vista dell'impiego dopo la laurea.

PROGRAMMA

Elementi di calcolo tensoriale con applicazione alla teoria dell'elasticità lineare. Visualizzazione ottica delle onde ultrasonore. Simulazione della propagazione di onde e impulsi mediante *parallel processing*; misura delle costanti elastiche del secondo ordine e altre proprietà elastiche. Trasmissione di onde in multistrati e strati di Epstein. Fenomeni di riflessione, conversione di modo, assorbimento, desorbimento e diffusione. Effetti nonlineari.

Aspetti avanzati della fisica dei cristalli. Simmetrie, classificazioni e trasformazioni. Tessitura degli aggregati policristallini. Funzione di distribuzione delle orientazioni. Fisica dei materiali piezoelettrici. Caratterizzazione delle sonde. Effetto acustoelastico. Applicazione degli ultrasuoni in microscopia. Determinazione delle costanti elastiche del terzo ordine. Modello d'energia pseudopotenziale e altri modelli microscopici. Onde superficiali (di Rayleigh, Lamb, etc.) e volumetriche. Effetti quantistici.

Applicazioni nel campo delle prove nondistruttive: misura di tensioni applicate e residue, tessitura. Teoria della rivelazione di difetti mediante tecniche ultrasonore di trasmissione, di riflessione, di risonanza e interferometriche. Metodi di rappresentazione grafica e a colori. Tecniche ecografiche. Tomografia mediante raggi X e acustica con applicazioni in campo tecnico e medico.

ESAME

Agli studenti viene offerta la possibilità di portare la prima parte del corso in un esame di "esonero" che conta, per chi lo sostiene, come una domanda ai fini dell'esame finale. La valutazione della tesina conta come una seconda domanda. L'esame finale conta come due domande e il voto viene dato come media dei quattro voti conseguiti. Viene incoraggiata una stretta interazione tra studenti e docente, per cui diventa più facile sostenere l'esame nella sessione successiva al periodo didattico del corso.

P2080 Fluidodinamica

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8 (ore settimanali)

Docente: Daniela Tordella

Questo insegnamento intende presentare una sintesi, rigorosa dal punto di vista fisico, ma concettualmente semplice, di una ampia parte della moderna dinamica dei fluidi. In particolare verranno approfonditi alcuni argomenti chiave quali: le equazioni del moto, la dinamica della vorticità, l'instabilità e la transizione alla turbolenza, la turbolenza pienamente sviluppata.

REQUISITI. Corsi di *Analisi matematica*, *Fisica* e *Meccanica razionale*.

PROGRAMMA

1. Considerazioni preliminari sulle proprietà fondamentali dei fluidi. [8 ore]

Descrizione fenomenologica dei flussi secondari, del carattere laminare o turbolento del moto. Generalità della trasmissione termica in presenza del moto di un fluido: convezione naturale e celle di Bénard. Correlazione dei risultati sperimentali ed introduzione empirica dei numeri caratteristici.

2. Equazioni fondamentali dei sistemi fluidi continui. [20 ore]

Tensori della vorticità e della velocità di deformazione. Funzione di dissipazione, equazioni costitutive, fluidi newtoniani e non newtoniani. Equazioni di Stokes–Navier. Normalizzazione delle equazioni fondamentali: definizione dei numeri caratteristici e loro significato fisico. Modelli matematici semplificati. Separazione ed accoppiamento tra il moto del fluido e la diffusione del calore o della massa di una particolare specie.

3. Evoluzione dinamica della vorticità: moti rotazionali ed irrotazionali. [12 ore]

Flussi con potenziale, equazione di Bernoulli, paradosso di Alambert. Strato limite viscoso e termico, metodi integrali per il calcolo dello strato limite, separazione dello strato limite, resistenza di attrito e di forma, corpi aerodinamici e corpi tozzi. Scie e getti: bilanci di quantità di moto, di massa e di energia; trascinarsi da parte dei getti, effetto Coanda.

4. Instabilità. [8 ore]

Transizione alla turbolenza. Cenni alla descrizione della turbolenza in termini statistici; caduta irreversibile dell'energia meccanica verso la dissipazione, introduzione dei coef-

ficienti turbolenti di trasporto, e loro conseguenze pratiche sulla trasmissione del calore, della quantità di moto della massa di una specie chimica.

Oltre a questi argomenti di base, verranno illustrati in modo monografico alcuni tra i seguenti argomenti, la cui scelta sarà guidata dall'interesse degli studenti:

1. Concetti elementari di meccanica statistica. [10 ore]

Definizione di stato accessibile, postulati fondamentali, condizione di equilibrio, definizione e significato di temperatura ed entropia. Distribuzione canonica, teorema di equipartizione, funzione di distribuzione di Maxwell, cammino libero medio nei gas. Passaggio dalle molecole al *continuum*, il problema delle quantità medie, calcolo dei coefficienti di trasporto nei gas.

2. Flussi termici; equazioni di convezione (modello di Boussinesq), classificazione dei moti convettivi, convezione forzata, convezione libera e spiegazione teorica delle celle di Bénard. [10 ore]

3. Fenomeni di propagazione, onde di compressione o rarefazione, invarianti di Riemann e caratteristiche, onde d'urto. Onde di gravità, relazione di dispersione, velocità di fase e velocità di gruppo, propagazione dell'energia, onde in condotti elastici. [10 ore]

4. Cenni ai flussi in condotti collassabili. [10 ore]

5. Tecniche sperimentali per la misura delle grandezze che caratterizzano il flusso, e per la visualizzazione dello stesso. [6 ore]

ESERCITAZIONI

Non sono previste ore dedicate alle sole esercitazioni. Esercizi vengono svolti nelle ore di lezione, senza schema temporale prestabilito.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

D.J. Tritton, *Physical fluid-dynamics*, Oxford Univ. Press, 1988.

Testi per approfondimenti:

G.K. Batchelor, *An introduction to fluid dynamics*, Cambridge Univ. Press, 1967.

L.D. Landau, E.M. Lifshitz, *Fluid mechanics*, Pergamon, 1987.

P2120 Fluidodinamica delle turbomacchine

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

Docente: Luca Zanetti (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 interpallari 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 Weing.

Coefficiente di diffusione per lamine piane in schiera.

Coefficiente di diffusione per profili in schiera tramite correlazioni sperimentali.

Dimensionamento di massima di un compressore assiale.

Getto supersonico col metodo delle caratteristiche.

Calcolo curva incidenza unica.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

In preparazione testo del docente (attualmente disponibili i primi due moduli).

Appunti delle lezioni.

Testi ausiliari:

Horlock, *Axial flow compressors*.

Vavra, *Aero-thermodynamics and flow in turbomachinery*.

Wislicenus, *Fluid mechanics of turbomachinery*.

P2460 Gestione industriale della qualità

Anno:periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 84+28 (nell'intero periodo)

Docente: Fausto Galetto

Scopo del corso è

fornire le nozioni fondamentali riguardanti le idee, i metodi di gestione e le tecniche usate nelle aziende industriali per realizzare la qualità;

consentire di leggere scientificamente le sempre più numerose pubblicazioni;

affrontare in modo scientifico e manageriale le decisioni, i problemi, la prevenzione.

REQUISITI. Matematica elementare, probabilità, statistica e processi stocastici.

PROGRAMMA

(Lezioni ed esercitazioni sono interagenti)

Il cliente, l'azienda e la qualità.

La qualità: Perché ? Cosa è ? Chi la fa ? Chi ne è responsabile ?

I tetraedri della competitività, della gestione, del *manager razionale*.

Il circolo vizioso della disqualità. La matrice della conoscenza. I principi fondamentali della qualità. La *profound knowledge*.

Le tre identità della qualità.

L'approccio scientifico. Il fattore CP. MBITE (*management by if then else*).

La qualità nello sviluppo dei prodotti: obiettivi, verifiche, le tecniche usate, la crescita

della qualità. Le dieci aree chiave. Prevenzione e miglioramento: si propongono obiettivi diversi; necessitano di tecniche diverse di metodi di gestione diversi.

Concurrent engineering. Quality function deployment.

I *manager* e la statistica: interpretare la realtà e raggiungere gli obiettivi.

Prevenzione dei guasti: affidabilità ed i concetti fondamentali, le prove di affidabilità, la progettazione degli esperimenti. Incongruenze dei metodi bayesiani.

DOE (*design of experiments*): il Metodo G. Piani fattoriali completi e ridotti. Le errate metodologie alternative (incongruenza dei metodi Taguchi). Strumenti per il miglioramento della qualità.

Qualità durante il processo produttivo: significato ed uso delle carte di controllo, indici di *capability*. Qualificazione dei fornitori.

Certificazione delle aziende: le norme ISO, UNI; opportunità e rischi. I costi della disqualità: una miniera d'oro.

Organizzazione per la qualità: le responsabilità del *top management*. La qualità dei *manager*, dei metodi, delle decisioni.

Si farà costante riferimento a casi reali aziendali. Saranno analizzate le pubblicazioni più recenti per verificare la loro adeguatezza ai concetti sviluppati nel corso.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

W.E. Deming, *Out of the crisis*.

F. Galetto, copie di relazioni presentate ai vari convegni sulla qualità (nazionali ed internazionali).

F. Galetto, *Affidabilità. Vol. 1*, CLEUP.

F. Galetto, *Affidabilità. Vol. 2*, CLEUP.

Testi assolutamente sconsigliati:

Tutte le traduzioni di libri in lingua inglese, in modo particolare

W.E. Deming, *L'impresa di qualità* (ed. ISEDI ed ISVOR-FIAT), traduzione balorda che stravolge completamente il pensiero di Deming sulla qualità, come invece è chiaramente espresso nel libro *Out of the crisis*.

C. Kennedy, *I guru del management*, per le stesse ragioni.

ESAME

Prova scritta (2-3 ore, sono consentiti libri, manuali, appunti): decisioni su situazioni che si incontrano nelle aziende, analisi di documenti pubblicati sulla stampa tecnica, individuazione di soluzioni poco scientifiche.

Prova orale (0.5-1 ora; vi si accede avendo superato la prova scritta, il voto dello scritto non avrà influenze sul voto finale): discussione sugli argomenti trattati a lezione, discussione su documenti pubblicati, esposizione di argomenti a scelta del candidato.

P2560 Illuminotecnica

Anno:periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 70+20+10 (nell'intero periodo)

Docente: Augusto Mazza

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

Il corso intende fornire le conoscenze necessarie alla valutazione dell'illuminamento naturale ed artificiale per interni ed esterni ed alla elaborazione di progetti di impianti di illuminazione, ampliando e completando le nozioni di illuminotecnica acquisite dall'insegnamento di *Fisica tecnica*, che costituisce un prerequisito essenziale.

PROGRAMMA

Nella prima parte del corso vengono illustrate le caratteristiche della radiazione ed i processi di scambio radiativo.

Vengono quindi introdotte le grandezze fotometriche ed analizzato il processo della visione in tutti i suoi aspetti; particolare attenzione viene posta nella colorimetria ed in una approfondita analisi dei sistemi colorimetrici.

Vengono quindi prese in esame le sorgenti luminose ad incandescenza, luminescenza e fluorescenza ed i vari tipi di apparecchi illuminanti.

Si passa quindi ad i metodi di calcolo dell'illuminamento diretto (per aree all'aperto, campi sportivi, monumenti, ambienti di grandi dimensioni), seguiti da quelli per ambienti chiusi in presenza di superfici riflettenti.

Vengono approfondite le applicazioni a settori specifici: illuminazione stradale e di gallerie, illuminazione di impianti sportivi, di capannoni industriali, di uffici ed ambienti di lavoro con particolare attenzione ai problemi di conforto visivo ed alle considerazioni economico-energetiche.

Vengono infine trattati i principali aspetti dell'illuminazione naturale con i relativi metodi di calcolo.

ESERCITAZIONI. Calcolo e il progetto di diversi tipi di impianti di illuminazione e misure fotometriche in laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

G. Forcolini, *Illuminazione di interni*, Hoepli, Milano, 1988.

G. Parolini, M. Paribeni, *Tecnica dell'illuminazione*, UTET, 1977.

P2740 Impianti metallurgici

Anno:periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 70+40+10 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Mario ROSSO

Il corso ha lo scopo di far conoscere gli impianti industriali per la produzione e la trasformazione dei materiali. Con il termine impianti non si intende la semplice tecnologia impiantistica con la descrizione, inframmezzata da formule, del macchinario impiegato nell'industria: il programma proposto ha orizzonti ben più ampi, e vuol dare all'allievo una visione il più possibile vicina alla realtà industriale nella quale sarà chiamato ad operare, considerando l'impianto situato in un determinato luogo. Viene analizzata l'attività industriale nel suo complessivo, con le esigenze di sviluppo organico, di qualità ed affidabilità. Avendo in considerazione le condizioni ambientali e di sicurezza, vengono forniti i criteri di progettazione, conduzione e gestione degli

impianti stessi. Il programma, di carattere teorico-pratico, tiene conto del *curriculum* didattico seguito dagli studenti in Ingegneria dei materiali. Alcune visite a stabilimenti industriali meglio evidenzieranno gli argomenti studiati.

REQUISITI. È da considerarsi propedeutico il corso di *Fisica tecnica*.

PROGRAMMA

Disegno tecnico. [4 ore]

Norme unificate, proiezioni e assonometrie, elementi di base di metrologia tecnologica. Sezioni, indicazione convenzionale dei materiali nelle sezioni. Scritturazioni nei disegni e sistemi di quotatura. Interpretazione di un disegno tecnico.

Teoria e tecnologia del trasferimento di materia. [16 ore]

Trasporto dei solidi, nastri trasportatori, coclee, elevatori a tazze, mezzi particolari, trasporto pneumatico e cicloni separatori. Alimentatori e chiusure di scarico. Sistemi di stoccaggio dei solidi, tramogge e *silos*. Macinazione: frantumazione, granitura e polverizzazione, frantoi e mulini. Vagliatura e tipi di vaglio. La mescolazione dei solidi e relativi impianti. Sistemi misti solido-liquido: classificazione e flottazione, processi e impianti. Decantazione, sedimentazione, filtrazione, centrifugazione. Impianti di distribuzione dei fluidi: tubazioni, giunti, raccordi, guarnizioni e valvole, loro montaggio e protezione. Serbatoi per lo stoccaggio dei fluidi. Essiccamento diretto ed indiretto, cenni di igrometria ed analisi del processo, impianti di essiccamento.

Trasferimento del calore. [14 ore]

Richiami ai meccanismi di conduzione, convezione ed irraggiamento. Combustibili ed analisi del processo di combustione. Forni industriali: funzionamento e classificazione. La trasmissione di calore in regime stazionario ed in regime variabile nel tempo. Camini e tiraggio. Progettazione termotecnica. Perdite e recuperi di calore. Analisi dei forni industriali: elettrici, a combustibile, a muffola, in atmosfera controllata, forni sotto vuoto. Principali applicazioni: forni fusori, di elaborazione, di riscaldamento, di trattamento termico, di cottura e di sinterizzazione.

Impianti di produzione e formatura. [8 ore]

Impianti per la produzione di atmosfere controllate, per il rivestimento e la spruzzatura. Impianti per la formatura: stampaggio, laminazione, estrusione, rifusione a zone, colata, pressocolata, iniezione, *thixoforming* e *rheocasting*. Impianti per produzione, elaborazione e compattazione delle polveri. Presse isostatiche.

Ingegneria ambientale. [10 ore]

Protezione antincendio, classificazione e cinetica degli incendi, rivelatori, grado di pericolo, prevenzione ed estinzione. Polluzioni atmosferiche: polveri, fumi e odori. Normative, captazione ed aspirazione, impianti di depurazione ed abbattimento. Il corpo idrico e l'inquinamento: acque primarie e loro trattamento. Acque reflue: pretrattamenti, trattamenti primari, secondari e terziari. Raffreddamento dell'acqua. Trattamento dei fanghi. Rifiuti solidi: gestione e smaltimento. Inquinamento da rumore e da vibrazioni: normative, metodi di controllo, di riduzione e di protezione.

Ingegneria industriale. [12 ore]

Studi di fattibilità, concetti di ingegneria economica stati patrimoniali e ricerche di mercato. Fabbricati industriali e *plant-layout*. Caratteristiche dei fabbricati e criteri di scelta. Architettura industriale. Servizi generali e servizi ausiliari. Magazzini e modalità di immagazzinamento. Servomezzi: produzione e distribuzione dell'aria compressa, immagazzinamento e reti di distribuzione degli oli minerali, servomezzi gassosi.

Impianti elettrici: normativa e schemi di distribuzione. Impianti di illuminazione: efficacia, progettazione e manutenzione.

Qualità e gestione. [6 ore]

Logistica industriale, rete logistica e gestione di un sistema logistico. Tempistica ed intercorrelazione delle unità operative. Produttività e redditività degli investimenti impiantistici. Controllo qualità del processo. La manutenzione e le politiche di manutenzione, manutenzione preventiva.

ESERCITAZIONI

Disegno: analisi di tavole rappresentative ed esecuzione di schizzi a mano libera.

Progettazione di impianti di trasporto per materiali solidi e di reti di distribuzione di fluidi. Criteri di scelta di: pompe per vuoto, per liquidi e per sospensioni, ventilatori e compressori.

Calcolo e progetto di un impianto di essiccazione. Teoria della combustione e calcoli relativi alla combustione. Progettazione di forni.

Analisi e discussione di *layout* di impianti industriali.

Le esercitazioni saranno completate da visite di istruzione a impianti industriali.

BIBLIOGRAFIA

Dispense fornite dal docente.

A. Monte, *Elementi di impianti industriali. Vol. I e II*, Cortina, Torino.

ESAME. È prevista la discussione dell'esercitazione monografica relativa al progetto di un forno o di altro impianto, seguita da una prova orale.

P2820 Impianti termotecnici

Anno/periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 56+52+4 (nell'intero periodo)

Docente: Vincenzo FERRO (collab.: M. Masoero)

Il corso, di taglio fortemente applicativo, è destinato alla formazione di figure professionali quali il progettista di impianti, il responsabile del settore impianti, ambiente, o *energy manager* nell'industria, il funzionario di ente pubblico preposto ai settori dell'energia e dell'ambiente. Elemento didattico fondamentale è lo sviluppo di alcune esercitazioni progettuali, attorno alle quali è costruito il programma del corso.

REQUISITI. *Fisica tecnica.*

PROGRAMMA

1. *Classificazione e descrizione generale degli impianti termotecnici.* Richiami di termodinamica, meccanica dei fluidi e trasmissione del calore.

2. *Generatori di calore:* tipologie costruttive, bilancio energetico, definizioni e metodi di misura dei rendimenti, camini: metodi di dimensionamento e verifica; riferimenti normativi.

3. *Normativa per la sicurezza dei generatori di calore e degli apparecchi in pressione (DM 1.12.75).* Problemi di prevenzione incendi nelle centrali termiche. Normativa per l'installazione delle apparecchiature domestiche a gas.

4. *Scambiatori di calore*: tipologie costruttive; dimensionamento con i metodi LMTD e NTU; norme TEMA. Cenni al comportamento termico in transitorio e al dimensionamento strutturale.
5. *Principi della climatizzazione ambientale*: teoria di Fanger del *comfort* termo-igrometrico; qualità dell'aria negli ambienti confinati; requisiti e condizioni di progetto per il dimensionamento degli impianti di climatizzazione.
6. *Bilancio energetico di un edificio climatizzato*: calcolo del carico termico in condizioni invernali ed estive. Riferimenti normativi; analisi delle principali metodologie di calcolo manuale ed informatizzato; richiami sulla termodinamica dell'aria umida.
7. *Impianti di climatizzazione a tutta aria, misti aria – acqua, a sola acqua ed autonomi*: descrizione delle principali tipologie e metodi di dimensionamento; criteri di scelta delle tipologie di impianto, problemi installativi; conduzione e manutenzione degli impianti, cenni alla regolazione degli impianti.
8. *Reti di distribuzione dei fluidi (aria ed acqua)*: canali di distribuzione dell'aria: dimensionamento con i metodi a velocità imposta, a caduta di pressione costante e a recupero di pressione statica; scelta del ventilatore, verifica e bilanciamento, tubazioni di distribuzione dell'acqua; dimensionamento della rete, verifica e bilanciamento.
9. *Impianti di riscaldamento e ventilazione per edifici civili e industriali*: tipologie costruttive, problemi di installazione e conduzione; ventilazione naturale e forzata.
10. *Centrali per la produzione del freddo*: macchine frigorifere a compressione e ad assorbimento, richiami sui cicli termodinamici; compatibilità ambientale dei fluidi refrigeranti; principali tipologie, di impianto aspetti progettuali ed installativi; impianti a pompa di calore.
11. *Energetica degli impianti di climatizzazione*. La normativa italiana sul risparmio energetico (legge 10/91, regolamenti di attuazione e norme di supporto); metodologie di analisi del consumo di energia per climatizzazione; soluzioni progettuali per il risparmio energetico (recupero termico, *free cooling*, accumulo giornaliero, sistemi di supervisione, ecc.).
12. *Sistemi di cogenerazione*: impianti basati su turbine a vapore, turbine a gas e motori alternativi a combustione interna; struttura delle tariffe elettriche, costo dei combustibili e contratti di gestione energetica; criteri di convenienza e metodi di analisi tecnico-economica di sistemi di cogenerazione; sistemi di riscaldamento urbano; esempi di realizzazioni impiantistiche.
13. *Ventilazione delle gallerie*: tipologie di impianto; metodi di dimensionamento.
14. *Impatto ambientale degli impianti*; emissioni inquinanti in atmosfera: normativa di riferimento, effetti e tecniche di abbattimento; il rumore degli impianti: normativa di riferimento, effetti e tecniche di mitigazione.

ESERCITAZIONI

Esercitazioni di progetto:

1. Progetto della centrale termica di un complesso industriale: analisi delle prestazioni dei generatori di calore, dimensionamento dei camini, schemi funzionali, apparecchiature di sicurezza e prevenzione incendi.
2. Progetto dell'impianto di climatizzazione di un edificio per uffici: calcolo dei carichi

termici estivi ed invernali, scelta delle tipologie di impianto e dimensionamento dei componenti fondamentali, schemi funzionali, progetto delle reti di distribuzione aria e acqua.

3. Analisi energetico-economica di un impianto di cogenerazione per un complesso ospedaliero.

LABORATORIO

Esperienza di utilizzazione di un banco sperimentale sulla climatizzazione ambientale. Verranno inoltre organizzate visite ad impianti termotecnici esistenti.

BIBLIOGRAFIA

Il docente mette a disposizione degli studenti una raccolta di documenti (leggi, normative, articoli, ecc.) per lo svolgimento delle esercitazioni di progetto e per l'approfondimento dei temi trattati.

Testi per approfondimenti:

E. Macchi, P.M. Pellò, E. Sacchi, *Cogenerazione e teleriscaldamento*, CLUP, Milano.

C. Pizzetti, *Condizionamento dell'aria*, Masson, Milano.

E. Bettanini, P. Brunello, *Impianti tecnici*, CLEUP, Padova.

ASHRAE handbook (quattro volumi).

ESAME

Esame orale al termine del corso, che verte sia sulle esercitazioni, sia sugli altri argomenti trattati. Per sostenere l'esame è necessario aver completato le esercitazioni di progetto, che potranno essere svolte in gruppi di due (massimo tre) persone. La valutazione si basa, in misura sostanzialmente equilibrata, sulla qualità degli elaborati di progetto e sul livello di preparazione dimostrato.

P3100 Logistica industriale

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

Docente: Armando Monte

Il corso si prefigge lo scopo di fornire gli elementi indispensabili per poter risolvere i problemi relativi all'ottimizzazione dei servizi e dei sistemi concorrenti all'espletamento di un'attività produttiva. Si sviluppano, pertanto, i temi inerenti la minimizzazione razionalizzata dei tempi di attraversamento e delle scorte nell'ottica di produzione in *just-in-time*, affrontando gli aspetti della containerizzazione, dell'intermodalità, degli impianti dei terminali, ecc.

Ad integrazione e completamento di quanto sopra vengono trattati gli argomenti riguardanti il miglioramento dei livelli dei servizi conseguenti all'efficace impiego delle tecniche di manutenzione, di trasporto (su gomma, su ferro, per via d'acqua ed aerei), di distribuzione, ecc.

I diversi argomenti vengono affrontati in via teorica, quindi esaminati con applicazioni pratiche evidenziandone, infine, le implicazioni economico-finanziarie.

REQUISITI. Si ritiene necessario che gli allievi abbiano superato gli esami dei corsi di *Scienza delle costruzioni*, *Fisica tecnica*, *Meccanica applicata alle macchine*, *Tecnologia meccanica* e *Meccanica dei fluidi*.

PROGRAMMA

La strategia logistica: scelte, integrazioni, concorrenze, informatizzazione ed organizzazione.

Il prodotto: la sua progettazione, distribuzione, servizi per i clienti prima e dopo la vendita.

La gestione dei flussi interni: la movimentazione integrata ai servizi logistici ed informativi; la decentralizzazione.

I trasporti esterni: integrazione fra i modi di trasporto; i collegamenti europei e mondiali; le tendenze nei trasporti merci.

La gestione della produzione: tecniche migliorative; sistemi dinamici; modelli di strategie; gestione delle tecnologie.

Le risorse umane e la logistica: ritorni; formazione, comunicazioni ed addestramenti; la dinamica di gruppo.

La ricerca operativa applicata alla logistica; la teoria delle code; la teoria dei grafi; i sistemi dinamici.

La manutenzione, l'affidabilità e la disponibilità.

Centri intermodali e multimodali; le piattaforme logistiche (pubbliche e private); le catene logistiche.

ESERCITAZIONI

Consistono nell'applicazione ad un caso reale delle scelte e strategie logistiche giungendo ad uno studio di massima di soluzioni (anche alternative) mediante la definizione dei relativi modelli attuativi determinandone, infine, i bilanci costi / benefici.

BIBLIOGRAFIA

Manuale di logistica, UTET.

ESAME

I temi svolti durante le esercitazioni, continuativamente esaminati e discussi, sono oggetto di verifica finale onde poter accedere all'esame di profitto. Questo consiste in una prova orale destinata all'accertamento della preparazione mediante domande riguardanti gli argomenti trattati a lezione; il voto finale dipende dagli esiti della predetta verifica e della prova orale.

**P3265 Meccanica dei materiali +
Metallurgia meccanica**
(Corso integrato)

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

Docenti: Donato Firrao, Massimo Rossetto

Il corso si propone di fornire i concetti fondamentali e le principali applicazioni del comportamento meccanico dei materiali alle condizioni che portano alla frattura dei componenti strutturali sollecitati sia con carichi statici sia con carichi variabili. Vengono quindi affrontate le tematiche della meccanica della frattura e della fatica e sottolineati i possibili interventi progettuali sui componenti e sui materiali per evitare cedimenti in opera. Vengono inoltre analizzati vari metodi di controllo non distruttivo dei componenti.

REQUISITI. *Scienza delle costruzioni, Tecnologia dei materiali metallici.*

PROGRAMMA

1. Richiami sullo stato di tensione e sulle ipotesi di rottura, modalità di cedimento dei materiali. [8 ore]
2. Fattori di concentrazione delle tensioni in campo elastico e in campo plastico. [8 ore]
3. Meccanica della frattura lineare elastica: approccio energetico, tasso di rilascio energetico (G); descrizione di campo di tensione e di deformazione all'apice di una cricca; fattore di intensità delle tensioni; deformazioni plastiche all'apice di una cricca. [8 ore]
4. Prove di tenacità alla frattura secondo le normative, fattori che influenzano la tenacità alla frattura; tenacità alla frattura di diversi materiali anche in funzione dei trattamenti termici e alle tecnologie di produzione. Cenni al problema della tensio-corrosione. [8 ore]
5. Arrotondamento all'apice di una cricca (COD-CTOD), curve di resistenza (curve R); integrale J ; cenni di meccanica della frattura elastoplastica. [8 ore]
6. Controlli non distruttivi e catalogazione dei difetti. [10 ore]
7. Fatica: approccio alla fatica con la meccanica della frattura; legge di Paris, il fenomeno del ritardo. Aspetti micro- e macroscopici della fatica. [8 ore]
8. Fatica ad alto numero di cicli: diagrammi SNP, metodi di determinazione delle curve di fatica, fattori che influenzano la vita a fatica, effetto degli intagli, effetto delle tensioni medie e diagrammi di fatica; fatica con carichi di ampiezza variabile: ipotesi di danneggiamento cumulativo. [12 ore]
9. Fatica oligociclica e approcci a due stadi: equazione di Manson Coffin. [4 ore]
10. Fatica multiassiale: approcci classici e approcci tipo piano critico. [4 ore]

ESERCITAZIONI

1. Verifica statica di componenti. [4 ore]
2. Applicazioni della meccanica della frattura in campo statico. [4 ore]
3. Determinazione della tenacità alla frattura e dell'integrale J critico. [4 ore, parte in laboratorio]
4. Frattografia e morfologia delle fratture. [4 ore, parte in laboratorio]
5. Controlli non distruttivi. [2 ore, in laboratorio]
6. Applicazioni della legge di Paris. [4 ore]
7. Verifiche a fatica. [4 ore]

BIBLIOGRAFIA. Dispense parziali fornite dai docenti. Eventuali testi di approfondimento verranno segnalati dai docenti durante il corso.

P3280 Meccanica dei robot

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

Docente: Ario Romiti (collab.: Andrea Manuello Bertetto)

Scopo del corso è di fornire le conoscenze necessarie per la progettazione funzionale e strutturale dei robot e per il loro adattamento ai vari possibili impieghi, e la formulazione dei modelli matematici che dovranno essere utilizzati dai programmatori dei controlli. Verranno dapprima studiate le caratteristiche dei componenti, quindi sarà effettuata l'analisi del sistema robot; verranno infine considerate le applicazioni, dall'integrazione dei robot in sistemi complessi alla personalizzazione dei robot per usi particolari.

REQUISITI. Conoscenza approfondita di nozioni di analisi matematica, geometria, meccanica applicata.

PROGRAMMA

Tipologie di robot industriali; classificazione delle strutture meccaniche; applicazioni: robot di montaggio, manipolazione, saldatura, verniciatura. Robot speciali: robot mobili, per applicazioni mediche, spaziali, minerarie, oceaniche, nucleari. [4 ore]

Cinematica dei robot: metodi per la descrizione del posizionamento e dell'orientamento di un corpo nello spazio mediante vettori e matrici. Trasformazioni cinematiche nello spazio: traslazioni, rotazioni, trasformazioni omogenee. Angoli di Eulero, formula di Rodriguez. Metodo di Denavit-Hartenberg (vers. Craig) per la descrizione del posizionamento relativo tra gli elementi di un robot. [9 ore]

Espressioni ricorsive delle velocità e delle accelerazioni dei giunti e degli elementi di un robot. Determinazione della matrice jacobiana. Analisi cinematica inversa di strutture con polsi monocentrici. [4 ore]

Tipologie e schemi funzionali e realizzativi di polsi per robot a due e tre gradi di libertà. Analisi cinematica dei polsi. Metodo di definizione del livello di degenerazione. [4 ore]

Sistemi per la trasmissione e la trasformazione del moto. Trasmissioni con flessibili, con alberi coassiali, a parallelogramma. Riduttori epicicloidali. Riduttori speciali: *harmonic drive*, articolati (Redax, Cyclo), Teijin-Seiki. [16 ore]

Sistemi di presa e manipolazione per robot: tipologie, schemi funzionali e realizzativi, metodi di analisi e di progetto. [2 ore]

Statica dei manipolatori: equazioni di equilibrio, principio dei lavori virtuali. Dinamica dei manipolatori. Azioni d'inerzia su un corpo rigido nello spazio. Equazioni di Newton-Eulero, equazioni di Lagrange. [7 ore]

Traiettorie del moto di manipolatori. Traiettorie nello spazio dei giunti e nello spazio cartesiano. Punti virtuali lungo la traiettoria. Traiettorie di raccordo con rotazioni coniche. Valutazione degli errori di posizionamento.

Oscillazioni di un manipolatore per diversi tipi di traiettorie. Valutazione della frequenza fondamentale. Valutazione del massimo *overshoot* con diverse leggi di comando. [8 ore]

Controllo dei robot. Leggi del motore dell'asservimento. Schema del controllo.

Controllo nello spazio dei giunti. Scelta dei parametri delle matrici di guadagno proporzionale, derivativa e integrativa. Controllo nello spazio cartesiano. [4 ore]

Azionamenti per robot: elettrici, idraulici, pneumatici. Motori elettrici a corrente continua, a magneti permanenti, *brushless*, motori a passo. Caratteristica meccanica. Caratteristiche elettrodinamiche di motori a c.c. Modellazione dinamica di servo-azionamenti elettrici per controllo di velocità e di posizione. [4 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nello svolgimento di esercizi relativi a quanto sviluppato durante le lezioni, con particolare riferimento all'utilizzo dei robot in ambiti diversi, con dimostrazioni in laboratorio del funzionamento dei diversi tipi di robot e con la spiegazione di codici di calcolo anche esplicitamente dedicati alla robotica (ADAMS, ROANS, MATLAB, MAPLE).

BIBLIOGRAFIA

A. Romiti, *Cinematica e dinamica dei robot*, (dispense del corso).
King-Sun Fu, R.C. Gonzalez, C.S. George Lee, *Robotica*, McGraw-Hill.
E.I. Rivin, *Mechanical design of robots*, McGraw-Hill.
R. Paul, *Robot manipulators*, MIT Press.

ESAME. L'esame si svolge in forma orale sull'intero programma del corso (lezioni ed esercitazioni).

P3290 Meccanica del veicolo

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

Il corso si propone di fornire agli allievi le conoscenze di base necessarie alla comprensione ed alla modellazione matematica del comportamento dinamico dell'autoveicolo. Nella prima parte del corso vengono trattate le forze che l'autoveicolo riceve nell'interazione con la strada e con l'atmosfera. Viene poi studiata la risposta del veicolo a tali forze, analizzando le prestazioni del veicolo nel moto in rettilineo ed in curva e le caratteristiche di guidabilità, sicurezza e *comfort* del veicolo. Pur trattando specificatamente problematiche relative agli autoveicoli, il corso non trascura 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 quale l'industria automobilistica.

REQUISITI

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

PROGRAMMA

1. Forze scambiate tra veicolo e strada. [10 ore]

Introduzione al corso. Sistemi di riferimento per il veicolo e per il pneumatico. Il pneumatico come organo deformabile: rigidità, raggio di rotolamento. Resistenza di rotolamento. Forze scambiate tra ruota e suolo in direzione longitudinale. Scorrimento del pneumatico. Forze scambiate tra ruota e suolo in direzione trasversale. Interazione

tra forze trasversali e longitudinali. Modelli empirici per la previsione delle forze scambiate tra ruota e suolo. Comportamento dinamico del pneumatico. Prove sui pneumatici.

2. *Aerodinamica del veicolo.* [4 ore]

Forze e momenti aerodinamici. Resistenza aerodinamica. Campo di moto intorno al veicolo. Forme idonee a ridurre la resistenza aerodinamica dei veicoli.

3. *Comportamento dinamico del veicolo rigido.* [12 ore]

Controllo della traiettoria degli autoveicoli. Sterzata cinematica. Trattazione semplificata del moto in curva: fattore di slittamento e di ribaltamento. Modello a tre gradi di libertà per il comportamento direzionale del veicolo. Equazioni del moto. Comportamento direzionale del veicolo. Veicoli sovrasterzanti e sottosterzanti. Stabilità direzionale a comandi liberi e bloccati. Risposta a forze ed a momenti esterni. Risposta direzionale del veicolo nel moto vario. Veicoli a pi assi e veicoli a sterzata integrale. Comportamento direzionale dei veicoli articolati e con rimorchio. Rimorchi e semirimorchi con assi sterzanti. Modelli semilinearizzati e nonlineari per il comportamento direzionale degli autoveicoli. Interazione veicolo - guidatore; modelli di guidatore.

4. *Comportamento del veicolo su sospensioni elastiche.* [14 ore]

Modelli di veicoli su sospensioni elastiche. Modello a dieci gradi di libertà per il veicolo isolato a due assi. Disaccoppiamento tra comportamento direzionale e moti di sospensione. Comportamento direzionale del veicolo su sospensioni elastiche. Mono-sospensione ad un grado di libertà. Valutazione dello smorzamento ottimo. Mono-sospensione a due gradi di libertà. Cenni sulle sospensioni attive e controllate. Sospensioni con smorzatore dinamico. Modelli a molti gradi di libertà. Moti di rollio e di beccheggio, barre antirollio. Eccitazione da strada. Effetto delle vibrazioni sull'uomo. Interazione tra comportamento direzionale (*handling*) e *comfort* degli autoveicoli: considerazioni teoriche e risultati sperimentali. Conclusione del corso.

ESERCITAZIONI

Calcolo delle prestazioni di un autoveicolo; in particolare:

Calcolo della potenza necessaria al moto. Calcolo della potenza trasmissibile in funzione della velocità.

Calcolo della massima velocità raggiungibile e scelta dei rapporti di trasmissione.

Simulazione dell'avviamento del veicolo.

Massa apparente traslante. Calcolo della curva di ripresa.

Calcolo del consumo chilometrico. Frenatura ideale.

Frenatura in condizioni reali. Correttore di frenata.

Moto in curva a regime del veicolo. Modello nonlineare semplificato.

Simulazione di una manovra (ingresso in curva oppure sorpasso).

BIBLIOGRAFIA

G. Genta, *Meccanica dell'autoveicolo*, 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, III piano. L'iscrizione sarà effettuata scrivendo nome, cognome e numero di matricola.

P3360 Meccanica delle vibrazioni

Anno/periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 72+32+16 (nell'intero periodo)

Docente: Bruno Piombo

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

Il corso si propone di utilizzare i metodi di studio di sistemi lineari e non lineari con applicazioni su sistemi meccanici reali.

PROGRAMMA

Eccitazione impulsiva, a gradino, sinusoidale. Eccitazione periodica: serie di Fourier. Eccitazione aperiodica. Eccitazione casuale: parametri caratteristici di un processo casuale; ergodicità e stazionarietà; funzioni di correlazione.

Definizione e interpretazione della trasformata di Fourier; proprietà caratteristiche. Trasformate di Fourier di eccitazioni impulsive, sinusoidali e casuali. Auto- e *cross*-spettri, coerenza. Le trasformate di Fourier discretizzate (DFT) e quelle veloci (FFT).

Sistema massa, molla e smorzatore con smorzamento viscoso, isteretico e coulombiano: parametri caratteristici del sistema.

Risposta di un sistema SDOF alle eccitazioni impulsiva, a gradino sinusoidale. Risposta in frequenza. Risposta di un sistema SDOF ad eccitazioni aperiodiche: integrale di convoluzione. Trasformata di Fourier dell'integrale di convoluzione. Risposta di un sistema SDOF ad eccitazioni casuali. Forma matriciale del modello di un sistema vibrante MDOF. Smorzamento proporzionale e non proporzionale. Coordinate generalizzate. Trasformazione di coordinate.

Modi propri di vibrare (autovalori e autovettori). Principio di ortogonalità degli autovettori. La trasformazione modale. Applicazione dell'analisi modale per la determinazione della risposta di sistemi MDOF.

Sistemi MDOF smorzati in modo non proporzionale: autovalori e autovettori complessi. Risposta ad eccitazioni sinusoidali: metodo di Duncan; metodo di Fraejijs de Veubeke o del ritardo di fase.

Sistemi continui. Modelli di sistemi meccanici: funi, travi, piastre.

Determinazione di autovalori e autovettori. Risposte ad eccitazioni di tipo impulsivo e sinusoidale.

L'analisi modale sperimentale e la strumentazione utilizzata. L'analisi delle funzioni di trasferimento ricavabili sperimentalmente (FRF). Estrazione dei parametri modali. Modelli SDOF e MDOF. I residui. Confronto tra i modelli modali ottenuti per via numerica e per via sperimentale.

Modellazione delle principali non linearità. Analisi teorica della risposta di sistemi non lineari a differente eccitazione. Applicazione delle trasformate di Hilbert, delle serie di Volterra e delle trasformate di Fourier multiple per l'analisi di sistemi non lineari.

ESERCITAZIONI

Vengono assegnati problemi pratici collegati con gli argomenti trattati nel corso.

LABORATORI. Esempi pratici di sistemi vibranti e relative misure sperimentali.

BIBLIOGRAFIA

G. Jacazio, B. Piombo, *Meccanica applicata alle macchine. Vol. 4*, Levrotto & Bella, Torino.

J.P. Den Hartog, *Mechanical vibrations*, McGraw-Hill, New York, 1956.

W.T. Thomson, *Vibrazioni meccaniche: teoria ed applicazioni*, Tamburini, 1974.

D.J. Ewins, *Modal testing: theory and practice*, Research Studies Press, Letchworth, 1985.

J.S. Bendat, A.G. Piersol, *Random data*, Wiley, New York, 1986.

L. Meirovitch, *Elements of vibration analysis*, McGraw-Hill, New York, 1985.

P 3400 Meccanica superiore per ingegneri

Anno/periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 50+40 (nell'intero periodo)

Docente: Luigi Preziosi

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

Il corso si propone di contribuire ad una solida formazione culturale nel campo della meccanica teorica, da applicarsi a problemi attuali di ingegneria.

Esso comprenderà lezioni, esercitazioni, temi di studio affidati agli studenti.

REQUISITI. *Analisi 1 e 2, Fisica 1, Meccanica razionale.*

PROGRAMMA

Richiami sulle vibrazioni libere e forzate di sistemi lineari con più gradi di libertà e con vari tipi di eccitazione.

Vibrazioni casuali: variabili aleatorie, densità di probabilità, momenti, varianza. Sistemi ergodici, funzioni di correlazione, densità spettrale di potenza. Risposta di sistemi dinamici e strutture a sollecitazioni casuali; applicazioni.

Sistemi continui: corde vibranti, propagazione ondosa, problemi di valori al contorno, applicazioni. Vibrazioni delle travi: longitudinali, torsionali, flessionali. Vibrazioni di membrane e piastre. Sistemi non lineari con un grado di libertà, e cenni al caso di più gradi di libertà: oscillazioni del pendolo in generale; sistemi con rigidità variabile, con giochi, con arresti. Vari tipi di resistenza non lineare: di Coulomb, turbolento, strutturale, con isteresi. Studio delle vibrazioni libere, smorzate, forzate, equazione di Duffing; curve di risposta in ampiezza e fase. Procedimenti generali sul piano delle fasi, vari tipi di singolarità, cicli limite, equazione di Van der Pol. Sistemi con caratteristiche variabili; equazioni di Hille e di Mathieu, diagrammi di stabilità. Applicazioni varie.

Introduzione alle meccanica analitica: sistemi hamiltoniani, equazioni di Hamilton-Jacobi, trasformazioni canoniche.

Applicazioni: moti centrali, moto dei pianeti attorno al Sole, satelliti artificiali, giroscopi.

ESERCITAZIONI. Vengono assegnati problemi specifici collegati con gli argomenti del corso, sui quali gli studenti poi riferiscono e presentano elaborati.

BIBLIOGRAFIA

S. Nocilla, G. Baracco, M. Bertolini, *Appunti di meccanica delle vibrazioni*, CELID, Torino, 1978.

W. Thomson, *Vibrazioni meccaniche*, Tamburini, Milano, 1974.

J.P. Den Hartog, *Mechanical vibrations*, McGraw-Hill, New York, 1956.

P. Hagedorn, *Non linear oscillations*, Clarendon, Oxford, 1961.

S. Crandall, W. Mark, *Random vibration in mechanical systems*, Academic Press, New York, London, 1963.

R. Riganti, G. Rizzi, *Elementi di meccanica analitica*, CELID, Torino, 1979.

P3410 Meccatronica

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

Docente: MASSIMO SORLI (collab.: Giuseppe Quaglia, Giuliana Mattiazzo, Stefano Pastorelli)

Il corso affronta le problematiche riguardanti i dispositivi misti meccanici – elettronici presenti nell'automazione industriale e presenta alcune applicazioni caratteristiche al riguardo. Vengono in particolare analizzati i componenti di sensorizzazione, sia descrivendo le tipologie costruttive e funzionali degli strumenti atti al rilievo delle tipiche grandezze fisiche e meccaniche, sia i componenti di interfaccia e di regolazione della potenza, considerando tipiche attuazioni elettriche, pneumatiche ed idrauliche. In particolare vengono descritte le prestazioni dei componenti proporzionali pneumatici sia di tipo digitale sia di tipo continuo (valvole proporzionali e servovalvole). Vengono infine analizzati tipici schemi di sistemi di controllo della posizione, della velocità, della forza in servosistemi pneumatici.

REQUISITI

Meccanica applicata alle macchine. Controlli automatici + Elettronica applicata.

PROGRAMMA

Definizione di sistema meccatronico. Componenti costituenti un sistema meccatronico: attuazione, sensorizzazione, interfacciamento, controllo. Specifiche di progetto e caratteristiche funzionali. Cenni su differenti tipologie di attuazione: elettrica, oleoidraulica e pneumatica. Trasmettitore e interfaccia. [6 ore]

Scopo, funzione e requisiti dei trasduttori utilizzati nei sistemi meccanici automatizzati. Struttura funzionale. Caratteristiche statiche: sensibilità, linearità, risoluzione, isteresi. [4 ore]

Caratteristiche dinamiche: modellazione di un trasduttore come sistema continuo. Modello di un sistema meccanico. Richiami di funzioni di trasferimento e spazio degli stati. Esempi. Sistemi di ordine 0, 1, 2. Identificazione del sistema nel dominio del tempo e in frequenza. Criteri di scelta dei sensori per macchine automatiche. [6 ore]

Principi di trasduzione. Trasduttori meccanici, pneumatici, elettrici, ottici, sonici. Trasduttori resistivi, capacitivi, induttivi, laser, effetto Hall, piezoelettrici. [8 ore]

Trasduttori digitali: *encoder* e riga ottica. [4 ore]

Tipologie costruttive di sensori per il rilievo delle grandezze meccaniche: prossimità, spostamento, velocità, forza, coppia, pressione. [4 ore]

Scopo, funzione e requisiti dei dispositivi di interfaccia nell'attuazione a fluido (oleodinamica e pneumatica). Valvole continue e digitali. Valvole proporzionali e servovalvole. Tipologie costruttive. [4 ore]

Blocchi funzionali di valvole proporzionali: regolazione, comando, attuazione. Valvole proporzionali in pressione e in portata. Caratteristiche funzionali, ambientali, elettriche, dimensionali, gradi di protezione, caratteristiche statiche e dinamiche. [4 ore]

Criteri di scelta e di dimensionamento di interfacce in servosistemi a fluido. Modellazione di valvole proporzionali. Applicazioni di sistemi meccatronici con attuazione a fluido. Controlli di forza, di posizione, di pressione. [6 ore]

Effetto dei disturbi e metodi per eliminarne gli effetti. [4 ore]

Applicazioni delle tecniche di controllo analogico e digitale nei sistemi meccatronici. Problematiche di acquisizione di segnali analogici, di conversione A / D e D / A e di comunicazione digitale. [4 ore]

Esempi di applicazioni industriali di sistemi meccatronici. [2 ore]

ESERCITAZIONI

È previsto lo sviluppo di esercitazioni in supporto agli argomenti sviluppati a lezione. Gli studenti sono suddivisi in squadre, che si alternano nello svolgimento delle esercitazioni sperimentali e numeriche in 13 pomeriggi. All'esame finale viene presentata da ogni coppia di studenti una relazione sulle attività svolte nelle esercitazioni, in cui sono riportati gli obiettivi, le metodologie, le principali caratteristiche dei componenti usati, i risultati sperimentali acquisiti, i modelli MATLAB, i risultati numerici.

Esercitazioni sperimentali:

Vengono analizzati e valutati sia singoli componenti di trasduzione, sia sistemi completi di controllo. Nello svolgimento pratico delle esercitazioni sono acquisiti i segnali derivanti dalle prove condotte. Temi: sensore di forza a sei assi di misura, sensori di posizione resistivi e LVDT, sensori di pressione e di forza, dispositivo di controllo pressione in serbatoio, attuatore pneumatico con controllo di posizione, sistema di montaggio e identificazione.

Esercitazioni numeriche:

Sono svolte presso il LAIB. Nelle prime esercitazioni viene richiamato il linguaggio MATLAB e vengono modellizzati e simulati tipici comportamenti di sistemi meccanici. Vengono nelle esercitazioni successive modellizzati i sistemi provati durante le esercitazioni sperimentali, ne viene simulato il funzionamento e vengono confrontati i rilievi sperimentali e numerici.

BIBLIOGRAFIA

Documentazione fornita dal docente.

Appunti delle esercitazioni a cura del docente.

E.O. Doebelin, *Measurement systems*, McGraw-Hill.

ESAME. L'esame viene svolto in forma orale sui contenuti del programma delle lezioni e delle esercitazioni. Viene dato un peso significativo ai contenuti della relazione sulle esercitazioni condotte e alla discussione degli stessi.

P3430 Metallurgia fisica

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+2 (ore settimanali); 70+16+6 (nell'intero periodo)

Docente: Bruno De Benedetti (collab.: Giovanni Maizza)

Si tratta di una disciplina, didatticamente autonoma, propedeutica fondamentale per l'indirizzo metallurgico del corso di laurea in Ingegneria chimica e per l'indirizzo metallurgico del corso di laurea in Ingegneria meccanica.

Tratta di struttura, proprietà, comportamento fisico-meccanico dei metalli, argomento appena sfiorati nei due corsi paralleli a carattere tecnologico e strettamente applicativo di *Tecnologia dei materiali metallici* e di *Metallurgia*.

REQUISITI. Le nozioni propedeutiche impartite nel corso di *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*.

PROGRAMMA

Struttura cristallina dei metalli; principali tipi di reticolo cristallino; natura del legame metallico. Difetti nei metalli: vacanze, dislocazioni, bordi di grano, difetti di impilamento. [12 ore]

Leghe metalliche; soluzioni solide sostituzionali e interstiziali; fasi di Hume-Rothery e di Laves; soluzioni solide ordinate. Richiami di termodinamica delle leghe metalliche e diagrammi di stato binari. [8 ore]

Solidificazione dei metalli; fenomeni di nucleazione e crescita; solidificazione dendritica; fenomeni di segregazione; omogeneizzazione. Ricottura dei materiali metallici deformati a freddo: *recovery*, ricristallizzazione, crescita dei grani, ricristallizzazione secondaria. Fenomeni di indurimento per precipitazione: solubilizzazione, invecchiamento, nucleazione e crescita dei precipitati. [22 ore]

Diffusione nelle soluzioni solide sostituzionali; prima e seconda legge di Fick; prima e seconda legge di Darken; determinazione dei coefficienti di diffusione; autodiffusione nei metalli puri; diffusione interstiziale. [8 ore]

Deformazioni plastiche a temperature elevate per scorrimento sotto carichi costanti. [8 ore]

Deformazione con geminazione; nucleazione e crescita dei geminati. Trasformazioni martensitiche; influenza delle sollecitazioni meccaniche sulla stabilità della martensite; trasformazioni bainitiche e perlitiche. [12 ore]

ESERCITAZIONI

Calcoli roentgenografici: scelta dell'anticatodo; calcolo delle costanti reticolari; indicizzazione di un diffrattogramma; calcolo dei coefficienti di diffusione. [16 ore]

LABORATORIO

Partecipazione a misure diffrattometriche su apparecchiature a goniometro verticale e orizzontale. [6 ore]

BIBLIOGRAFIA

R.E. Reed, *Physical metallurgy principles*, Van Nostrand, New York, 1977.

P. Brozzo, *Struttura e proprietà meccaniche dei materiali metallici*, ECIG, Genova, 1979.

ESAME. È previsto un solo accertamento finale tramite un colloquio orale. Il calendario viene stabilito in occasione di ogni appello in modo da favorire la massima flessibilità delle prove nel rispetto delle regole di Facoltà.

P3500 **Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici**

Anno: periodo 4,5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 80+40+2 (nell'intero periodo)

Docente: Stefano Olla

Scopo del corso è quello di fornire agli allievi (di Ingegneria gestionale, e di altri corsi per cui sia dichiarato materia opzionale) sia nozioni fondamentali di calcolo delle probabilità e statistica, che consentano gli opportuni approfondimenti in campo teorico, sia conoscenze a livello operativo dei principali metodi statistici applicati in campo tecnico ed economico. A tal fine, accanto alla trattazione teorica, viene riservato un opportuno spazio per la trattazione di problemi pratici di frequente ricorrenza, illustrando mediante esempi, applicabilità e limiti dei metodi usati.

REQUISITI. *Analisi matematica 1, Geometria (gestionali), Analisi matematica 2* (altri corsi di laurea).

PROGRAMMA

1. *Probabilità.* [8 ore + eserc.]

Definizioni di probabilità e loro applicabilità, nozioni di calcolo combinatorio, regole di calcolo delle probabilità, probabilità a posteriori, la formula di Bayes.

2. *Distribuzioni.* [18 ore + eserc.]

Variabile casuale (discreta e continua), distribuzioni di variabili discrete e continue, principali distribuzioni teoriche, parametri principali relativi a posizione, dispersione, forma, disuguaglianza di Tchebycheff.

3. *Statistica descrittiva.* [6 ore + presentazione di un *package* statistico]

Concetti di popolazione, campione e metodi di campionamento, distribuzioni sperimentali (classi e rappresentazioni grafiche), misure di tendenza centrale e di dispersione, metodi grafici, GPN e suo impiego diagnostico.

4. *Distribuzioni congiunte.* [12 ore + eserc.]

Distribuzioni congiunte, covarianza e coefficiente di correlazione, distribuzione normale bidimensionale, somma, prodotto e quoziente di variabili casuali, distribuzione del massimo e del minimo, applicazioni allo studio dell'affidabilità.

5. *Processi stocastici.* [10 ore + eserc.]

Processi di Poisson, cenni alla teoria delle code, catene di Markov; processi markoviani omogenei.

6. *Inferenza statistica.* [14 ore + eserc.]

Distribuzioni campionarie, teorema del limite centrale e sue applicazioni ed implicazioni, stima puntuale, stimatori e loro proprietà, intervallo di fiducia e limiti di fiducia per medie, osservazioni a coppie, varianze, proporzioni, basi logiche di un *test* di ipotesi, tipi di errori e loro controllo, livello e *test* di significatività, curve caratteristiche operative e loro uso, *test* riguardanti le medie, le proporzioni, la varianza e confronto fra due o più varianze.

7. *Analisi della varianza.* [4 ore + eserc.]

Analisi della varianza per uno e due fattori controllati. Replicazioni.

8. *Regressione.* [6 ore + eserc.]

Regressione lineare semplice (valutazione di adattamento e variabilità residua), analisi della varianza, osservazioni ripetute, regressione multipla, calcolo con procedimento matriciale, analisi della varianza, correlazione.

9. Cenni sulla *Progettazione degli esperimenti.* [2 ore]

Interdipendenza tra criteri di analisi dei risultati e criteri di pianificazione delle prove, esperimenti fattoriali, effetti principali e interazioni, blocc orei e frazionamenti e loro implicazioni.

BIBLIOGRAFIA

Richard A. Johnson, *Miller and Freund's Probability and statistics for engineers*, Prentice-Hall.

ESAME

Si ricorda che gli appelli di esame sono divisi in cinque sessioni e che il periodo "naturale" di valutazione per il corso di *Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici* va dal 19-6-1995 al 29-7-1995; in suddetto periodo vi sono due sessioni di esami (la terza dal 19-6-1995 all'1-7-1995 e la quarta dal 3-7-1995 al 29-7-1995).

L'esame consiste in una prova scritta ed una orale, che devono essere sostenute nello stesso appello (eccezionalmente nel periodo di valutazione compreso tra il 19-6-1995 e il 29-7-1995 è consentito sostenere la prova scritta e la prova orale in appelli diversi). I candidati che lo desiderino possono optare per un esame esclusivamente basato su una prova scritta: in tal caso il voto finale d'esame non potrà superare i 26/30.

Lo studente può presentarsi alla prova scritta una volta per sessione; è necessario prenotarsi preventivamente all'appello, consegnando lo statino presso la Segreteria Didattica del Dipartimento, 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 lo studente può utilizzare gli appunti del corso, il libro di testo, le tavole e le macchine calcolatrici.

Se lo studente non si ritira entro la mezz'ora che precede il termine per la consegna della prova scritta, l'esito dell'esame verrà comunque registrato.

L'orale non può essere sostenuto se la prova scritta risulta insufficiente e l'eventuale esito negativo della prova orale comporta la ripetizione della prova scritta in una successiva sessione.

P3540

Metrologia generale meccanica

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

Docente: Anthos Bray (collab.: Fiorenzo Franceschini)

REQUISITI. Conoscenze di base di scienza delle costruzioni, di meccanica applicata ed elettrotecnica generale.

PROGRAMMA

Il corso si divide in due parti: la prima riguarda la metrologia generale e la seconda le misure meccaniche. La finalità è di fornire le conoscenze sul corretto impiego dei mezzi e dei metodi di misura per il collaudo delle strutture e per la determinazione delle proprietà meccaniche dei materiali.

1. *La metrologia generale*

Sono descritti i compiti della metrologia, basati sulla comprensione dei fenomeni fisici, sulla scelta dei mezzi e dei metodi di misura, sulla loro disseminazione e sulla valutazione dei risultati. I settori di intervento sono la metrologia scientifica, tecnica e legale. Fanno parte di questo argomento lo studio dei sistemi di unità di misura e dei campioni delle unità, i diversi tipi di trasduttori per la misura delle grandezze meccaniche e termiche, il loro principio di funzionamento e i mezzi per la determinazione delle caratteristiche metrologiche, nonché l'analisi degli errori e dell'incertezza.

2. *Elementi di statistica per il trattamento dei dati sperimentali*

Questo argomento è inserito nel corso per permettere agli allievi la corretta presentazione ed interpretazione dei risultati. Attraverso l'analisi statistica sono indagate le cause delle incertezze casuali.

3. *Le misure meccaniche*

Comprendono i mezzi e i metodi usati nella meccanica "fredda" e nelle misure statiche nel settore dell'analisi delle sollecitazioni. Sono presentati i mezzi e i metodi per generare e misurare i diversi tipi di sollecitazione, includendo lo studio dei dinamometri e delle macchine di prova materiali.

La parte che riguarda la misura della deformazione comprende i metodi puntuali e quelli a tutto campo. Tra i primi, ampio spazio è dedicato agli estensimetri, in particolare agli estensimetri elettrici a resistenza, usati per la misura della deformazione sia nel piano, sia nello spazio.

Tra i metodi a tutto campo sono illustrati: la fotoelasticità, il metodo *moiré*, l'interferometria olografica ed i rivestimenti fragili.

In conclusione possiamo affermare che il corso è rivolto alla meccanica sperimentale, cioè alla trattazione dei metodi sperimentali per i quali l'industria dimostra ampio interesse, poiché costituiscono gli strumenti adatti per costruire strutture più leggere e più resistenti, per ottenere prodotti di qualità migliori e più affidabili e per rendere automatica l'acquisizione e l'elaborazione dei risultati nel campo del controllo della qualità.

LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio sono indirizzate ai seguenti temi:

Misure dimensionali eseguite con una macchina di misura a coordinate.

Misure di durezza Rockwell B.

Verifica sperimentale della curva di taratura di un LVDT.

Montaggio e verifica delle caratteristiche nominali di un estensimetro elettrico a resistenza (ER).

Verifica della taratura di una macchina di prova materiali.

Determinazione delle tensioni su un albero cavo mediante ER.

ESAME

L'esame si articola in due parti: la prima consiste in un colloquio orale da sostenere verso la metà del semestre, la seconda consiste anch'essa in un colloquio da sostenere a fine corso secondo il calendario degli appelli.

Il primo colloquio comprende la parte generale ed è impostato sulle prime tre esercitazioni di laboratorio; l'esame conclusivo comprende la parte dei metodi e mezzi di misura adoperati nel settore dell'analisi delle sollecitazioni ed è impostato sulle altre esercitazioni di laboratorio.

Ogni candidato deve presentarsi all'esame con una copia dei rapporti tecnici svolti durante il periodo didattico.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Bray, V. Vicentini, *Meccanica sperimentale*, Levrotto & Bella, 1975.

Durante il corso verranno distribuite monografie su argomenti specifici.

Testi ausiliari:

S. Sartori, *Le misure nella scienza, nella tecnica, nella società*, Paravia, 1979.

R. Levi, *Elementi di statistica sperimentale*, RTM, Vico Canavese, 1972.

A. Bray, *Gli estensimetri elettrici a resistenza*, CNR, Roma, 1965.

A. Bray, G. Barbato, R. Levi, *Theory and practice of force measurement*, Academic Press, London, 1990.

Progetto UNI CEI, *Vocabolario internazionale dei termini fondamentali e generali della metrologia*.

Misura e misurazioni. Termini e definizioni fondamentali (Norma UNIPREA UNI 4546).

P3710 Misure termiche e regolazioni

Anno: periodo 4:1

Docente: Antonio Barbero

Il corso si propone di fornire una formazione specialistica mirata in modo particolare alla necessità di chi debba gestire sistemi di misura e di regolazioni termiche in campo industriale e civile.

Il corso si articola in due parti, una teorica ed una più direttamente operativa. Anche nella parte teorica sono analizzate le problematiche principali con una costante correlazione con gli aspetti più operativi. In questa ottica vengono trattati i fondamentali delle misure con riferimento alle condizioni di misura in regime statico ed in regime dinamico. Per quello che riguarda le regolazioni, la parte teorica è mirata alle strategie di base delle regolazioni termiche ed ai criteri fondamentali di funzionamento dei principali regolatori.

Nella parte più operativa vengono forniti elementi di valutazione comparata di carattere tecnico-economico per meglio definire gli aspetti economici, gestionali, tecnici, progettuali delle misure e delle agevolazioni termiche per applicazioni civili. Nell'ambito di questa parte di corso sono previste numerose esercitazioni di laboratorio.

PROGRAMMA

Fondamenti delle misure in regime statico.

Fondamenti delle misure in regime dinamico.

Descrizione dei principali strumenti per le misure termiche, fondamentali (pressione, temperatura, portata, umidità, titolo di vapore, energia radiante, etc.).

Fondamenti della strategia di regolazione.

Descrizione del funzionamento dei principali regolatori (proporzionale, integrale, derivato, proporzionale-integrale-derivato, *on-off*).

B3830 Motori per aeromobili

Anno: periodo X: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 autoret-tori. 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 autoret-tore. 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.

P3910 Pianificazione dei trasporti

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

Docente: Francesco Iannelli (collab.: Mario Villa)

Il corso si propone l'approfondimento dei temi di pianificazione dei trasporti e delle infrastrutture fornendo le principali conoscenze di base teoriche ed applicative del processo di pianificazione e discutendo la loro applicazione ad alcuni casi reali.

REQUISITI. *Tecnica ed economia dei trasporti, Calcolo delle probabilità e statistica, Ricerca operativa.*

PROGRAMMA**1. Il processo di pianificazione e il diritto alla mobilità.**

Il significato e l'importanza del processo di pianificazione negli scenari temporali e spaziali della mobilità. La mobilità e il diritto ad esercitarla. La relazione tra mobilità e tessuto urbano, socio-economico, territoriale, ambientale. Il costo sociale del trasporto.

2. Definizione degli obiettivi specifici d'interesse generale.

Obiettivi specifici di tipo generale e scenari temporali e spaziali in relazione ai livelli di pianificazione. Livelli di definizione funzionale.

3. La formazione di un modello nel processo di pianificazione.

La necessità di individuare un modello matematico di interrelazione tra le attività e la mobilità. La validazione generale dei modelli. Cenni sulla teoria dei sistemi. La teoria e la realtà dei comportamenti individuali: costruzione di un modello interpretativo, dal modello individuale a quello globale.

4. Alcuni modelli di base nel processo di pianificazione.

Il modello regressivo lineare semplice e multiplo. Il modello gravitazionale. Il modello di Lowry. Il modello di accessibilità. Il modello di ripartizione modale. I modelli di generazione, distribuzione ed assegnazione degli spostamenti. Il modello di ottimizzazione lineare. Il modello del costo generalizzato. Il modello di simulazione dell'inquinamento atmosferico ed acustico del traffico.

5. Individuazione dell'obiettivo specifico e formalizzazione della metodologia per la soluzione dell'obiettivo.

6. Le fasi di una metodologia di base del processo di pianificazione.

6.1. Inventario di tutte le condizioni esistenti.

Le variabili socio-economiche, urbanistico-territoriali, del sistema dei trasporti e delle infrastrutture, del sistema della mobilità, del sistema ambientale e di inquinamento atmosferico e ed acustico.

La delimitazione dell'area in studio e relativa zonizzazione per la conoscenza e la valutazione delle variabili: parte conoscitiva e parte di analisi e valutazione.

6.2. La modellizzazione della mobilità.

La formazione di un modello di domanda e il processo di assegnazione all'offerta attraverso modelli di ripartizione modale. La verifica di un possibile equilibrio e di validazione dei modelli.

6.3. La previsione delle variabili.

La previsione con riferimento all'assetto del territorio, delle attività e della mobilità.

6.4. Il progetto specifico all'obiettivo.

Gli scenari. La scelta del sistema di trasporto. Organizzazione. Scelta dell'infrastruttura. Valutazione economica e/o tecnica: l'analisi costi - benefici. Valutazione dal punto di vista sociale ed ambientale: l'analisi VIA (valutazione impatto ambientale) e l'analisi multicriteri.

6.5. L'equilibrio tra domanda e offerta.

Analisi dei risultati delle modellizzazione e delle scelte progettuali.

7. Analisi e discussione di alcuni progetti di pianificazione.

Il piano dei trasporti. Il piano dei trasporti pubblici. Il piano dei trasporti privati. Il piano urbano del traffico. Il piano del trasporto merci.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni sono articolate in tre principali sezioni:

- la prima affronta l'applicazione delle metodologie di base nella modellistica dei trasporti e riguardano la conoscenza dei modelli lineari ed il loro utilizzo dal punto di vista previsionale;
- la seconda affronta l'applicazione ad un caso reale dei modelli di base del processo di pianificazione, dalla generazione all'assegnazione della mobilità;
- nell'ultima si analizzano e si discutono alcuni casi reali.

BIBLIOGRAFIA

La specializzazione e la tipologia dei contenuti di pianificazione non consente l'utilizzo di un solo testo. Nel corso delle lezioni e delle esercitazioni saranno disponibili alcuni testi ed alcuni copie di casi reali che saranno oggetto di approfondimento e di discussione. Si segnalano alcuni testi consigliati:

Ortuzar, Willumsen, *Modelling transport*.

Wiley Colin Lee, *I modelli nella pianificazione*, Marsilio.

IRSPSEL, *Sistema regionale dei trasporti e programmazione*, Angeli.

ESAME. L'esame è basato sulla prova orale e sulla valutazione di una prova scritta impostata durante le esercitazioni che percorre gli argomenti trattati nel corso.

P 3950 Plasticità e lavorazione per deformazione plastica

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

Docente: Giovanni Perotti

Il corso si prefigge l'intento di fornire competenze nell'ambito delle tecnologie di deformazione plastica dei metalli. A questo scopo si forniscono indicazioni sulla teoria elementare della plasticità, introducendo tensioni e deformazioni puntuali, i criteri di plasticizzazione, i modi per risolvere i problemi di formatura. Successivamente si analizzano le diverse lavorazioni alla luce di quanto sopra detto, e si evidenziano le caratteristiche tipiche di ogni lavorazione esaminata.

REQUISITI. Conoscenze di meccanica, tecnologia meccanica, materiali.

PROGRAMMA

1. Cenni introduttivi

Cenni storici sulle lavorazioni per deformazione plastica, concatenazione tecnologica dei prodotti. [2 ore]

Meccanismi della deformazione plastica, dislocazioni. [2 ore]

2. Analisi elementare della plasticità

Tensori delle tensioni, autovalori ed autovettori. [3 ore]

Tensori delle deformazioni e delle velocità di deformazione. [2 ore]

Criteri di plasticizzazione. [2 ore]

Lavorazioni innovative. [1 ora]

Relazioni analitiche fra tensioni, deformazioni e velocità di deformazione, curve di plasticizzazione dei materiali. [2 ore]

3. Metodi per la soluzione di problemi di formatura

Uso di equazioni di plasticità e di equilibrio; metodi del lavoro uniforme, della sezione, dei piani di discontinuità. [2 ore]

Metodi ai limiti, metodo delle linee di scorrimento, cenno sul metodo agli elementi finiti. [4 ore]

4. Tecnologie di lavorazione per deformazione plastica

4.1 Fucinatura, stampaggio massivo, estrusione

Fucinatura, stampaggio a caldo e semicaldo, modalità operative. [2 ore]

Calcolo dei lavori e delle forze necessari, condizioni di attrito. [2 ore]

Macchine ed utensili per fucinare e stampare. [4 ore]

Estrusione a caldo ed a freddo, modalità operative, calcolo delle forze e dei lavori con diversi metodi. [6 ore]

4.2 Laminazione

Laminazione piana a caldo ed a freddo, calcolo delle forze valutazione dell'attrito, e dell'allargamento. [6 ore]

Laminazione in calibri. [4 ore]

Cilindri di laminazione, materiali, disposizioni. [3 ore]

Treni di laminazione. [2 ore]

4.3 Produzione dei tubi. [2 ore]

4.4 Trafilatura di barre e fili. [2 ore]

4.5 Operazioni sulle lamiere

Tranciatura a profilo aperto e chiuso. [2 ore]

Modalità operative dell'imbutitura e dello stampaggio delle lamiere, determinazione degli sviluppi piani necessari, del numero di passaggi, delle forze. [4-6 ore]

Macchine, stampi di imbutitura; processi di simulazione nella progettazione degli stampi. [3 ore]

Piegatura. [1 ora]

ESERCITAZIONI

In aula:

Calcoli di forze e lavori in operazioni di ricalcatura, stampaggio massivo, laminazione, imbutitura, estrusione, tracciamento delle caratteristiche di una pressa meccanica.

Progettazione elementare di attrezzo per estrusione a freddo.

Uso di programmi per il calcolo di sequenze di calibri in laminazione, e di sequenze di forme di imbutitura della lamiera.

In laboratorio:

Esecuzione di operazioni di ricalcatura, di laminazione a freddo, di imbutitura, di piegatura, esame di pezzi deformati a caldo, a tiepido, a freddo.

Rilevamento con strumenti ottici delle deformazioni permanenti su particolari estrusi.

All'esterno:

Visite di studio presso stabilimenti dell'area torinese presso i quali si attuano tecnologie di deformazione dei metalli.

BIBLIOGRAFIA

Dispensa del docente.

Tschatsch, *Manuale delle lavorazioni per deformazione*, Tecniche Nuove, Milano.

Spur, *Enciclopedia delle lavorazioni meccaniche. Vol. 2 e 5*, Tecniche Nuove, Milano.

ESAME. Gli esami si svolgono in forma di esame orale tradizionale. Si richiede allo studente di portare il dossier delle esercitazioni svolte.

P4090 Produzione assistita da calcolatore

Anno:periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 52+26+26 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Giovanni Podda

Il corso si propone di descrivere il percorso che un bene di consumo segue, nel passaggio dall'idea concettuale al prodotto finito, attraverso il processo di disegno ed il processo di fabbricazione. Tutte le fasi che contribuiscono alla realizzazione del prodotto sono esaminate in una ottica di produzione assistita dal calcolatore, dalla creazione della base di dati per il modello alla sua realizzazione su una macchina a controllo numerico in una cella di lavoro servita da *robots*. Sono esaminati infine gli apporti della "intelligenza artificiale" alla rappresentazione ed alla gestione della conoscenza collegata al processo produttivo.

REQUISITI

Sono richieste conoscenze di base di disegno tecnico assistito, di tecnologia meccanica e di informatica. Le nozioni per l'apprendimento e l'uso del *software* dedicato vengono fornite durante il corso.

PROGRAMMA

1. *Introduzione al processo produttivo*. [4 ore]

Definizione di base del processo produttivo. Il disegno nel processo produttivo. Il controllo e la pianificazione.

2. *Il disegno e le sue specifiche.* [4 ore]

Il disegno e le normative. Il disegno assistito. I sistemi di modellazione.

3. *La pianificazione.* [4 ore]

L'organizzazione dell'esperienza. Le tavole e gli alberi di decisione. L'analisi della capacità del processo.

4. *Il controllo numerico.* [4 ore]

I principi del controllo numerico. La classificazione del controllo numerico. Lo *hardware* per il controllo numerico.

5. *La programmazione del controllo numerico.* [4 ore]

Il *part-program*. La programmazione manuale. La programmazione assistita. La programmazione dal modello CAD. La geometria del *part-program*.

6. *I robots.* [8 ore]

Generalità sulla cinematica e sulla dinamica dei *robots*. La programmazione dei *robots*. La visione artificiale nei *robots*.

7. *La group technology.* [8 ore]

Le famiglie di pezzi. La codifica e la classificazione delle famiglie di pezzi.

8. *La pianificazione dei processi produttivi.* [8 ore]

L'approccio manuale. L'approccio *variant*. L'approccio *generative*.

9. *L'intelligenza artificiale.* [8 ore]

Le strutture della conoscenza. I sistemi esperti. Le reti neurali. La logica *fuzzy*.

ESERCITAZIONI. [26 ore]

Le esercitazioni consistono nella guida alla scelta ed allo svolgimento di un argomento specifico del corso su cui costruire una sperimentazione da effettuarsi in un gruppo di 4-6 allievi. Sono previsti in media 3 incontri con il docente per la preparazione di una relazione, che andrà esposta e discussa in aula (circa 15' di tempo per ogni componente del gruppo) con tutti gli allievi del corso interessati. La relazione potrà vertere anche su un tema concordato con una azienda esterna interessata.

LABORATORIO. [26 ore]

1. I modellatori CAD. [10 ore]

Le curve parametrizzate. La modellazione per superfici (B-rep). La modellazione per volumi (CSG).

2. La costruzione dei percorsi utensile. [6 ore]

I percorsi utensile per il tornio. I percorsi utensile per le frese a candela.

3. I robots. [10 ore]

La programmazione e la simulazione dei robots.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

T. Chang, R.A. Wysk, H. Wang, *Computer-aided manufacturing*, Prentice-Hall, 1991.

Testi ausiliari:

U. Rembold, B.O. Nnaji, A. Starr, *Computer integrated manufacturing and engineering*, Addison Wesley, 1993.

I. Zeid, *CAD/CAM theory and practice*, McGraw-Hill, 1991.

ESAME

L'esame consiste in una prova teorica individuale (1 ora) ed in una relazione sperimentale svolta in gruppo durante il corso ed esposta e discussa in aula (15' di tempo per ogni componente il gruppo) con tutti gli allievi del corso interessati.

P4150 Progettazione degli impianti industriali

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

Docente: Alberto Chiaraviglio

Il corso si prefigge lo scopo di fornire agli allievi gli elementi indispensabili per poter, preliminarmente, redigere adeguati progetti esecutivi (tavole grafiche, documenti giuridico-amministrativi, computi, analisi ed elenco prezzi, programmi lavori, ecc.) di complessi produttivi e, successivamente, controllarne l'esecuzione (direzione contabilità dei lavori) giungendo, da ultimo, alla collaudazione ed all'avviamento delle previste attività produttive.

Ad integrazione e completamento di quanto sopra vengono sviluppati temi che riguardano la manutenzione, le forme di finanziamento, l'impatto ambientale, i trasporti su rotaia e per via d'acqua, le tendenze innovative, ecc.

I diversi argomenti vengono affrontati in via teorica passando, quindi, alla fase di applicazione pratica, evidenziandone, infine, gli aspetti economico-finanziari.

REQUISITI. Si ritiene necessario che gli allievi abbiano superato gli esami dei corsi di *Scienza delle costruzioni*, *Fisica tecnica*, *Meccanica applicata alle macchine*, *Meccanica dei fluidi* ed *Impianti meccanici*.

PROGRAMMA

Richiami del corso di *Impianti meccanici*.

Strumenti urbanistici e PPA; catasto, conservatoria dei registri immobiliari; servitù; ipoteche e privilegi.

Avamprogetto, studi di fattibilità, progetti comunali ed esecutivi; livelli di approvazione ed enti all'uopo preposti.

Calcolazioni.

Capitolati d'onori, prescrizioni tecniche, computi metrici, tempistiche e programmi lavori, analisi prezzi ed elenchi prezzi unitari.

Costi di esecuzione, capitali necessari, loro composizione e reperimento.

Ammortamenti, deprezzamenti e valutazioni.

Appalti; consorzi di imprese, *joint venture*, associazioni temporanee, ecc.

Esame delle offerte ed aggiudicazione dei lavori.

L'esecuzione dei lavori dal verbale di consegna del terreno al verbale di ultimazione e consegna dei lavori.

La direzione e la contabilizzazione dei lavori (giornale dei lavori, libretto delle misure, registro di contabilità, SAL, certificati di pagamento, sommario del registro di contabilità, manuale del direttore dei lavori); la liquidazione finale.

I collaudi tecnici ed amministrativi; lo *start-up*.

La manutenzione: scopi e tipologie.

Il quadro di bordo aziendale.

La struttura bancaria italiana e straniera; il finanziamento delle opere; le leggi speciali; tassi agevolati ed indicizzati.

Il *leasing* e la legge n. 1329/65 (Sabatini).

Gli impianti speciali; i trasporti ferroviari e per via d'acqua (moto ondoso, porti, ecc.).

L'impatto ambientale e la sua valutazione (matrice di Leopold, ecc.).

Le tendenze innovative; la bioingegneria applicata alla medicina (adroterapia).

Le applicazioni industriali degli acceleratori di particelle.

ESERCITAZIONI

Concernono la progettazione esecutiva di alcuni componenti (dalle strutture all'impianto elettrico, dalle reti fognarie all'impianto di distribuzione di aria compressa, ecc.) costi-

tuenti il complesso produttivo progettato in via di massima durante il corso di *Impianti meccanici*.

Alcune visite sopralluogo ad impianti funzionanti od in corso di realizzazione consentono di verificare direttamente quanto sviluppato nell'ambito delle lezioni e delle esercitazioni.

BIBLIOGRAFIA. Vengono forniti specifici riferimenti circa le più recenti pubblicazioni, anche straniere, riguardanti gli argomenti trattati.

ESAME

I temi svolti durante le esercitazioni, continuativamente esaminati e discussi, sono oggetto di verifica finale onde poter accedere all'esame. Questo consiste in una prova orale destinata all'accertamento della preparazione del candidato mediante domande riguardanti gli argomenti trattati a lezione; il voto finale dipende dagli esiti della predetta verifica e della prova orale.

P 4160 **Progettazione dei sistemi meccanici in campo dinamico**

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

Docente: Pasquale Calderale (collab.: A.L. Audenino)

L'introduzione dei mezzi informatici nella meccanica ha consentito di prendere in considerazione l'interazione fra gli elementi delle macchine, studiando in tal modo sistemi meccanici sempre più complessi ed ha permesso di modellare le strutture meccaniche senza ricorrere a drastiche semplificazioni. Questa possibilità ha modificato sostanzialmente la progettazione meccanica, trasformando completamente sia il modo di progettare sia l'organizzazione ed il modo di operare degli uffici tecnici.

Il corso tratta i fondamenti e l'applicazione dei metodi non convenzionali di progettazione, in particolare i metodi di discretizzazione agli elementi finiti. Viene analizzata l'integrazione tra progettazione di prodotto e di processo; ci si spinge ad un primo esame di metodi ancora allo stadio di ricerca.

REQUISITI. *Scienza delle costruzioni, Costruzione di macchine, Principi e metodologie della progettazione meccanica.*

PROGRAMMA

Gli argomenti indicati nel seguito coprono un numero di ore largamente superiore a quelle previste a calendario, il corso infatti ha strutturazione flessibile e non si prefigge una trattazione esaustiva, piuttosto viene privilegiata la discussione e il collegamento tra argomenti diversi. La materia obbligatoria per tutti gli studenti iscritti al corso sta largamente nel numero di ore previste a calendario e può essere in parte assimilata durante le ore di frequenza. A questa prima parte se ne affianca una seconda facoltativa e più impegnativa, rivolta agli studenti che desiderano esplorare le frontiere innovative della pratica della progettazione di sistema. Quest'ultima può essere dedicata allo studio comune di altri argomenti, se nessuno sceglie argomenti individuali, ovvero allo studio della parte facoltativa personalizzata.

La progettazione meccanica. [20 ore]

Principi, evoluzione, nuove metodologie di progettazione.

Progettazione delle macchine come sistema.

Organizzazione e gestione della progettazione.
 Integrazione tra progettazione di prodotto e di processo.
 Progettazione e responsabilità di prodotto.

Metodi di progettazione. [80 ore]

Richiami di elasticità: ipotesi di rottura.

Progettazione a resistenza e a rigidità. Rigidità strutturale: casi statico e dinamico.

Termoelasticità: concetti fondamentali, problemi di scambio termico, condizioni al contorno, equazioni fondamentali della termoelasticità.

Elementi di viscoelasticità, con particolare riferimento all'analisi delle strutture in materiale plastico.

Progettazione con materiali plastici e compositi.

Analisi del danno strutturale: richiami di fatica e frattura, con riferimento ai problemi di progettazione e sperimentazione dei sistemi meccanici.

Strutture in parete sottile, con particolare riferimento alle carrozzerie autoveicolistiche.

Metodi di discretizzazione.

Integrazione CAD / FEM.

Progettazione affidabilistica.

Progettazioni *fail-safe* e *safe life*.

Design of experiments.

Metodologie dell'intelligenza artificiale. Sistemi esperti. Basi di conoscenza, meccanismi inferenziali, euristica. Ruolo dell'ingegnere della conoscenza.

Ingegneria simultanea.

Progettazione per *features*: metodi di progettazione con caratteristiche, di estrazione delle caratteristiche e ibrido.

Design for assembly.

Design for manufacturing.

Design for environment (dall'idea del prodotto all'eliminazione ecologica dei rottami).

Applicazioni di tipo diagnostico.

Cenni sugli automi cellulari e sulle reti neuronali.

Cenni di analisi del valore applicata alla progettazione.

Progettazione sistematica e metodi di creatività nella progettazione.

Introduzione alle nuove applicazioni in *information storage and processing systems* (*mechanics of flexible media, sensors, actuators, etc.*).

Metodi sperimentali di supporto alla progettazione. [40 ore]

Estensimetria elettrica.

Fotoelasticità: teoria, interpretazione dei dati fotoelastici.

Rilievi di oscillazioni torsionali mediante estensimetri e torsiografi.

Controlli non distruttivi.

Termografia differenziale: teoria e interpretazione dei dati termografici.

Analisi di sistemi dinamici.

Analisi dell'immagine.

Applicazioni. [20 ore]

Esempi di applicazione della termoelasticità: frizione, freno (tamburo e disco), contenitori in pressione cerchiati, turbopompe (imbocco girante).

Metodi di progettazione dell'autoveicolo: metodi di discretizzazione. Verifiche ad urto.

Problemi di analisi acustica e di instabilità.

Problemi dinamici del gruppo motopropulsore. Vibrazioni degli alberi motore: vibrazioni torsionali, assiali, flessionali, accoppiate. Cenni sugli smorzatori dinamici di vibrazione. Metodi classici e di discretizzazione.

Analisi di sistemi dinamici non lineari: ammortizzatori per veicoli, articolazioni meccaniche.

Esempi. [10 ore]

Esempio di progettazione del sistema meccanico "motore": interazione fra albero e basamento.

Esempio di calcolo a resistenza e a rigidità: caso delle funi metalliche.

ESERCITAZIONI

Fotoelasticità.

Estensimetria.

Misura dello smorzamento.

Resistenza a fatica delle funi.

Controlli non distruttivi.

Analisi modale.

Esercitazione guidata con utilizzo di un programma agli elementi finiti.

Visite al Centro Ricerche Fiat.

Svolgimento di una tesina facoltativa che potrà essere scelta (individualmente o in coppia) tra gli argomenti proposti o eventualmente tra argomenti emergenti (e quindi non programmabili) da svolgersi in sede o presso enti esterni.

BIBLIOGRAFIA

Volumi della *Collana di progettazione delle macchine*, Levrotto & Bella.

Dispense distribuite durante il corso.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

W.H. Middendorf, *Design of devices and systems*, Dekker, New York.

ESAME

Prove scritte periodiche durante l'anno riguardanti la parte comune.

Valutazione della eventuale parte facoltativa (orale o relazione scritta).

Valutazione del livello di partecipazione e di interazione durante il corso.

Esame finale, solo orale, che non riguarda le nozioni valutate attraverso le prove precedenti.

P4180 Progettazione di sistemi di trasporto

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

Docente: Dante Marocchi (collab.: Cesare Paonessa, Cristina Pronello)

L'insegnamento riguarda gli aspetti progettuali e costruttivi degli impianti di trasporto persone e materiali su sede fissa, di tipo convenzionale ed innovativo, ed i problemi tecnici connessi con le prestazioni, la sicurezza ed il *comfort* di viaggio dei veicoli di trasporti su strada.

REQUISITI. Basi della *Scienza delle costruzioni*, della *Tecnica delle costruzioni*, di *Elettrotecnica* e di *Meccanica*.

PROGRAMMA

1. La progettazione e la costruzione di impianti a fune, aerei e terrestri, per trasporto di persone e di materiali. [24 ore]
2. La progettazione e la costruzione di ascensori, elevatori e montacarichi. [4 ore]
3. Le funi metalliche per gli impianti di trasporto. [4 ore]
4. I circuiti di alimentazione, segnalazione, sicurezza e comando a distanza negli impianti fissi di trasporto. [4 ore]

5. I motori per trazione negli impianti di trasporto su sede fissa e nei trasporti su strada. [4 ore]
6. Consumi ed inquinamento ambientale. [4 ore]
7. La progettazione dei principali organi degli autoveicoli in relazione alle prestazioni, alla sicurezza ed al *comfort* di viaggio. [6 ore]
8. I problemi progettuali dei veicoli ferroviari e stradali con vetture rimorchiate. [4 ore]
9. La regolamentazione italiana ed europea in materia di costruzione ed autorizzazione alla circolazione degli autoveicoli. [4 ore]
10. I sistemi di trasporto di tipo innovativo. [2 ore]

ESERCITAZIONI

Ad ogni gruppo di allievi (massimo tre allievi per gruppo), verrà assegnato un progetto di massima di un impianto di trasporto, da svolgere nel corso dell'anno accademico e da presentare almeno una settimana prima della prova orale.

I progetti comprenderanno lo studio di linea, la verifica delle caratteristiche dei motori, la verifica di stabilità dei veicoli e delle principali strutture di stazione e di linea.

Saranno disponibili, in Dipartimento, due calcolatori elettronici con stampante, adatti allo studio delle linee funiviarie, ma utilizzabili esclusivamente alla presenza del Docente o dei suoi collaboratori.

Gite di istruzione: nel corso dell'AA verranno effettuate una o due gite di istruzione su impianti in esercizio o in costruzione.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

D. Marocchi, *Trasporti a fune*, Levrotto & Bella, Torino, 1992.

D. Marocchi, *Lo studio delle linee funiviarie con il calcolatore elettronico*, Levrotto & Bella, Torino, 1994.

D. Marocchi, *Trasporti su strada*, Levrotto & Bella, Torino.

Nel corso delle lezioni verranno segnalate pubblicazioni e regolamenti adatti al completamento del corso.

Testi ausiliari:

P. D'Armini, *Elementi di progetto per impianti a fune*, ESA, Roma.

F. Linguini, *Impianti di trasporto a fune*, Ed. Sistema, Roma.

ESAME. L'esame finale consisterà nella discussione sul progetto presentato ed in un esame orale sull'intero programma.

P4270 Progetto delle carrozzerie

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2+1 (ore settimanali); 56+18+12 (nell'intero periodo)

Docente: Alberto Morelli (collab.: Patrizio Nuccio)

Scopo del corso è fornire gli elementi essenziali alla progettazione della carrozzeria d'automobile. Non sono trattati temi inerenti allo stile. Sono trattati solo con cenni alcuni problemi della realizzazione tecnologica.

REQUISITI. *Meccanica razionale, Meccanica applicata, Costruzione di macchine, Disegno meccanico*; si consiglia lo studente di frequentare *Costruzione di autoveicoli e Meccanica dell'autoveicolo*.

PROGRAMMA

La carrozzeria negli autoveicoli per trasporto privato, commerciale, industriale.

Schematizzazione del corpo umano; misure antropometriche; percentuali. Abitabilità, visibilità e *comfort*; posizioni consigliate del guidatore e degli altri occupanti; norme e raccomandazioni americane ed europee; norme nazionali di particolare interesse. Requisiti per l'agevole accesso ed uscita del veicolo.

Cenno sul processo di fabbricazione e formazione dei vetri temperati e laminati; qualità ottiche: trasparenza, distorsione, doppia immagine.

Normative ISO sul *comfort*; modifiche per l'applicabilità ai veicoli.

Principali configurazioni meccaniche degli autoveicoli e loro influenza sulla forma e sulla struttura.

Studi e analisi preliminari effettuati dal *marketing* e dalla "programmazione prodotto".

Elementi caratterizzanti l'impostazione della progettazione della carrozzeria. Fasi della progettazione e della sperimentazione.

Studio della forma; cenni sull'evoluzione storica ed effetti sul comportamento aerodinamico; approcci seguiti; corpi tipo e corpi di base. Influenza sulla resistenza aerodinamica di: attrito, sfilamento vorticoso, pressione sulla "troncatura". Conformazioni di scia.

Cenni sui modelli teorici per il calcolo della distribuzione di pressione.

Effetti del vento obliquo sul comportamento di marcia e modifiche migliorative della forma.

Rumorosità aerodinamica; numero di Strouhal.

Flussi interni, ventilazione dell'abitacolo, raffreddamento del motore.

Flussi seminterni, nei passaruote, nel vano motore.

Sperimentazione in galleria del vento, misure e visualizzazioni.

Sicurezza attiva, comandi della vettura, sbrinamento, disappannamento, aree deterse del parabrezza, campi di visione degli occupanti. Dispositivi di segnalazione e illuminazione, ecc.

Sicurezza passiva, sporgenze presenti sia all'interno sia all'esterno del veicolo. Sistemi di ritenuta, collassabilità dello sterzo, paraurti, strutture di protezione dei passeggeri, prevenzione incendio.

Strutture, fattori di carico, determinazione del sistema di carico.

Tipi di strutture: a telaio separabile e integrato, portante. Determinazione della rigidità torsionale. Elementi strutturali in lamiera sottile saldata. Longheroni, traverse, montanti e pannelli: loro collegamenti. Casi di instabilità elastica. Cenni sul comportamento a fatica.

ESERCITAZIONI. Studio di abitabilità di un autoveicolo. Costruzione manichino 2D.

LABORATORIO

Visita di un laboratorio per prova di scocche. Visita ad una galleria del vento.

BIBLIOGRAFIA

J. Fenton, *Vehicle body layout and analysis*, MEP, London, 1980.

Numerose monografie.

ESAME. Esame orale con discussione dell'esercitazione e domande sul programma svolto a lezione.

P4350

Programmazione e controllo della produzione meccanica

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

Docente: Paolo Brandimarte

Gli obiettivi del corso sono:

1. familiarizzare l'allievo con i problemi di gestione della produzione industriale, in termini di approcci *standard* e di procedure *software* commercialmente disponibili;
2. sviluppare le capacità di costruzione e soluzione di modelli matematici per problemi reali di programmazione della produzione.

REQUISITI. È indispensabile una buona conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Ricerca operativa*.

PROGRAMMA

Generalità e classificazione degli ambienti produttivi.

Make-to-stock, make-to-order, assemble-to-order, engineer-to-order. Produzione *batch* e ripetitiva. *Layout* di sistemi produttivi. Problemi di pianificazione, schedulazione e controllo. Indicatori di prestazione.

Controllo delle scorte.

Modelli deterministici e stocastici.

Manufacturing Resource Planning (MRPII).

Logica Material Requirements Planning (MRPI). Struttura dei pacchetti *software* MRPII. Rappresentazione della distinta base: *phantom items, features/options* e *product configuration*. *Master production scheduling*. *Lot sizing* nei pacchetti MRP: problemi di *nervousness*. Controllo avanzamento produzione.

Just in time.

Obiettivi e condizioni di applicabilità. Controllo Kanban.

Schedulazione a capacità finita.

Formulazioni classiche dei problemi di *scheduling* (strutture e obiettivi). Problemi non *standard* (processori *batch*, problemi periodici, *setup major/minor*, flussi rientranti). Schedulazione con regole di priorità; schedulazione dinamica; schedulazione reattiva. Pacchetti SW per la schedulazione a capacità finita e integrazione con MRP.

Complementi di programmazione matematica.

Programmazione non lineare: moltiplicatori di Lagrange; funzioni obiettivo non differenziabili; teoria della dualità; metodi numerici. Programmazione a numeri interi: esempi di formulazione di modelli; metodi di soluzione (*branch and bound*; rilassamento continuo, rilassamento lagrangiano). Rafforzamento della formulazione di problemi a numeri interi; *preprocessing* automatico. Programmazione dinamica. Complessità dei problemi di ottimizzazione discreta e strategie euristiche (metodi *greedy, beam search*, ricerca locale, euristiche duali, formulazioni modali). Pacchetti SW per l'ottimizzazione; generatori di modelli.

Modelli matematici a tempo discreto.

Modelli di *aggregate production planning*. Modelli per il *lot sizing* a capacità finita: caso di *time bucket* piccolo e *time bucket* grande; metodi *branch and bound* ed euristiche; *lot sizing* multi-livello.

Modelli matematici a eventi discreti.

Modelli per il bilanciamento dei carichi. Schedulazione di macchine parallele. Modelli a grafi disgiuntivi. Problemi *flow shop* (*branch and bound* ed euristiche). Euristiche per problemi *job shop* (*shifting bottleneck*, ricerca locale). Schedulazione di macchine con tempi di *setup*. Schedulazione di processori *batch*. Controllo della produzione in ambienti ripetitivi con macchine soggette a guasti.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula sono strettamente integrate con le lezioni e riguardano: soluzione manuale di semplici problemi di programmazione con la logica MRP; soluzione di problemi di schedulazione con metodi euristici; costruzione di modelli matematici per problemi di programmazione e schedulazione della produzione.

LABORATORIO

Le esercitazioni in laboratorio sono facoltative: vengono svolte a gruppi presso il Laboratorio di Economia e Produzione, e riguardano l'uso di pacchetti *software* di programmazione della produzione (MRP), schedulazione di dettaglio, valutazione delle prestazioni di sistemi di produzione e ottimizzazione.

BIBLIOGRAFIA

P. Brandimarte, A. Villa, Gestione della produzione industriale, UTET, 1995.
P. Brandimarte, A. Villa, *Advanced models for manufacturing systems management*, CRC Press, 1995.

ESAME

L'esame si articola su una prova scritta ed una orale. L'eventuale partecipazione alle esercitazioni di laboratorio non influenza la valutazione e non richiede la preparazione di relazioni scritte.

P4602 Scienza delle costruzioni 2

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 60+60+30 (ore, nell'intero periodo)
Docente: Paolo Vallini (collab.: Franco Del Col)

Il corso si propone di fornire le conoscenze fondamentali per l'interpretazione del funzionamento strutturale; quale naturale prolungamento della materia iniziata al terzo anno, si sviluppano gli strumenti analitici che sono alla base del metodo agli elementi finiti. Una particolare attenzione è dedicata all'analisi statica a collasso, situazione che si raggiunge attraversando il campo di comportamento non lineare, sia per causa dell'impegno dei materiali, sia per le condizioni di equilibrio, da rispettare nella configurazione deformata, talvolta notevolmente differente da quella iniziale.

Gli aspetti teorici sono sviluppati con costante riferimento alle conseguenze nel comportamento statico d'insieme ed alle possibili scelte progettuali; a questo scopo la didattica è assistita da sistemi di calcolo automatico aperti, ove è evidenziata la traduzione numerica della modellazione meccanica.

PROGRAMMA

Introduzione al corso: contenuti, sussidi didattici, esami. [1 ora]

Effetti delle deformazioni anelastiche. [4 ore]

Equazione dei lavori virtuali, equilibrio nella configurazione deformata, teorema di Kirchhoff. [2 ore]

- Teoremi di reciprocità e funzioni d'influenza. [2 ore]
 Analisi non lineare degli elementi inflessi, plasticità. [4 ore]
 Analisi limite delle travature con metodo delle cerniere plastiche. [2 ore]
 Duttilità delle strutture metalliche ed in conglomerato cementizio armato, limitazioni all'applicazione del metodo delle cerniere plastiche. [4 ore]
 Introduzione al metodo degli elementi finiti, funzioni di forma, matrici di rigidezza. [6 ore]
 Elementi piani a 3 e 4 nodi, nelle condizioni di deformazione piana e tensione piana. [2 ore]
 Elementi bidimensionali in regime flessionale e membranale, regime ortotropo. [2 ore]
 Analisi lineare delle travature per elementi finiti. [6 ore]
 Effetti di non linearità meccanica e geometrica nelle travature piane. [2 ore]
 Metodi approssimati per l'analisi di elementi snelli, instabilità singola e di gruppo secondo il metodo della colonna modello. [3 ore]
 Travi e grigliati piani su appoggio elastico, applicazioni al calcolo di tubi e serbatoi con parete sottile. [4 ore]
 Piastre inflesse, deduzione dell'equazione di Sophie-Germain, metodi di integrazione alle differenze finite. [4 ore]
 Analisi per elementi finiti, in regime ortotropo, elementi misti piastra + grigliato. Calcolo a collasso con *yielding lines*, modelli per il calcolo non lineare. [4 ore]
 Ingobbamento per torsione degli elementi con parete sottile, sollecitazioni parassite per torsione variabile, contributo di irrigidimento negli elementi con gradiente di torsione variabile. [4 ore]
 Comportamento non lineare delle strutture ad arco, analisi a collasso. [3 ore]

ESERCITAZIONI

Nelle esercitazioni in aula sono proposti temi applicativi, integrati dalla discussione dei risultati raggiunti dagli studenti, suddivisi in gruppi di lavoro. Sono altresì previste esercitazioni presso il laboratorio informatico, ove sono resi disponibili supporti didattici di calcolo automatico e sono analizzate le procedure proposte dagli studenti in relazione ai temi loro assegnati; gli elaborati migliori sono inseriti nel materiale didattico a disposizione degli studenti.

BIBLIOGRAFIA

Nell'ambito delle esercitazioni è prevista la distribuzione di materiale didattico, costituita da fotocopie di relazioni monografiche e programmi di calcolo relativi a temi sviluppati nel corso. L'insegnamento non prevede l'adozione di uno specifico testo, tuttavia per ragioni culturali si ritiene utile il riferimento alla bibliografia seguente:

- A. Carpinteri, *Scienza delle costruzioni. Vol. 1 e 2*, Pitagora.
 L. Corradi, *Meccanica delle strutture. Vol. 1 e 2*, McGraw-Hill.

ESAME. La prova d'esame, esclusivamente orale, è generalmente articolata su tre quesiti, con ampia discussione degli elaborati prodotti dal candidato, in relazione ai temi assegnati durante il corso.

P4630 **Scienza e tecnologia dei materiali ceramici**

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 85+10+10 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Ignazio Amato (collab.: Laura Montanaro)

Il corso intende fornire agli studenti interessati all'ingegneria dei materiali una adeguata conoscenza delle caratteristiche, della produzione e dell'uso dei materiali ceramici d'impiego industriale.

REQUISITI. È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Chimica e di Tecnologia dei materiali e chimica applicata*.

PROGRAMMA

Scienza ceramici. [9 ore]

I solidi: fondamenti teorici. L'ordine nei solidi. Cristalli e strutture cristalline. Solidi ionici e solidi covalenti: legami, strutture, proprietà. Solidi policristallini, microstrutture, ceramografia.

Comportamento superficiale dei solidi, energia superficiale, bagnabilità, capillarità, adsorbimento.

Proprietà ceramici. [7 ore]

Solidi duttili e solidi fragili. Le proprietà dei solidi. Comportamento meccanico dei ceramici e tenacità alla frattura. Correlazioni proprietà – microstruttura.

Densificazione dei materiali ceramici. [9 ore]

I difetti nei solidi e la diffusione. La densificazione per sinterizzazione. La teoria della sinterizzazione. Le proprietà dei solidi sottoposti a sinterizzazione: la superficie specifica. Le caratteristiche dei sinterizzati: la porosità aperta e chiusa, la dimensione dei pori. L'influenza di gas occlusi nei pori e la regressione della densità. Sinterizzazione a più componenti solidi. Sinterizzazione in sistemi solido-liquido. Densificazione per pressatura a caldo. Sinterizzazione e ricristallizzazione.

Tecnologia dei materiali ceramici. [25 ore]

Le polveri ceramiche: caratteristiche. I processi di produzione di polveri industriali. I processi di produzione di polveri speciali: sol-gel, evaporazione ed estrazione solvente, reazione in fase vapore. Additivi di processo e meccanismo d'azione. Meccanica delle particelle e reologia. I processi di preparazione delle polveri prima della formatura: trasporto, macinazione, mescolamento, lavaggio, granulazione. I processi di formatura: pressatura, estrusione, colaggio. I processi di cottura: essiccamento, presinterizzazione, sinterizzazione. Finitura e rivestimenti.

Prodotti ceramici. [25 ore]

Ceramici base ossido: allumina e zirconia. Ceramici base nitruri: nitruro alluminio, nitruro di silicio, nitruro di boro. Ceramici base carburi: carburo tungsteno, carburo titanio, carburo silicio. Ceramici base boruro: boruro di zirconio. Ceramici base siliciuri: siliciuro di molibdeno. Ceramici per sensori ed elettroliti solidi. Metallo-ceramici ed utensili da taglio. Vetro e vetro-ceramici. Diamante policristallino.

I rinforzi ceramici: le fibre di nitruro di silicio, gli *whiskers* di carburo di silicio, le fibre di carbonio. Compositi ceramici e monocomposti ceramici.

ESERCITAZIONI

Analisi strutturale: calcolo della struttura di alcuni materiali ceramici. [3 ore]

Analisi microstrutturale: valutazione e calcolo microstruttura di alcuni materiali ceramici (grano medio, fattore di aspetto). [3 ore]

Determinazione proprietà meccaniche: modulo di Young, tenacità a frattura, flessione a tre punti, durezza Vickers e Knoop. Statistica di Weibull: esempi applicativi. [4 ore]

LABORATORIO

Le esercitazioni, con squadre a numero limitato di studenti, riguarderanno quanto segue:

Identificazione dei costituenti in una miscela di ossidi ceramici mediante diffrazione ai raggi X. [2 ore]

Le tecniche microscopiche: SEM, TEM, HRTM, EDS, WDS. [2 ore]

Valutazione caratteristiche meccaniche ceramici. [2 ore]

Analisi granulometrica laser di polveri ceramiche. [2 ore]

Determinazione superficie specifica e porosità. [2 ore]

Analisi termotecniche e termofisiche (TGA, DTA, DSC, dilatometria). [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

J.S. Reed, *Introduction to principles of ceramic processing*, Pergam, New York.

R. Sersale, *I materiali ceramici ordinari e speciali*, Ed. Ambrosiana.

I. Amato, *Monografie*.

L. Montanaro, *Monografie*.

ESAME

Orale con presentazione relazioni scritte, svolte durante le lezioni, ed elaborazioni svolte durante le esercitazioni.

P4780 Siderurgia

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+1 (ore settimanali); 70+15 (nell'intero periodo)

Docente: Aurelio Burdese (collab.: Mario Rosso)

Il corso ha lo scopo di affinare la preparazione dell'ingegnere in campo metallurgico, fornendo conoscenze specialistiche sulle leghe ferrose, con particolare riferimento ai processi ed impianti siderurgici, senza però trascurare un più approfondito studio delle proprietà strutturali, meccaniche e chimiche dei prodotti siderurgici e delle loro caratteristiche di impiego.

Per una buona preparazione nel campo specifico occorrono buone nozioni di base sulle metallurgia generale, la tecnologia dei materiali metallici (trattamenti termici e meccanici), e dei materiali refrattari, la teoria e la pratica dei fenomeni di combustione e di trasmissione del calore.

Il corso si svolgerà con lezioni, integrate da esame di schemi costruttivi di impianti ed apparecchiature specifiche con visite a stabilimenti siderurgici. Essendo un corso di tipo applicativo l'estensione degli argomenti potrà variare in modo significativo rispetto all'impegno previsto nel programma in dipendenza di opportuni aggiornamenti della tecnologia.

REQUISITI. *Termodinamica dell'ingegneria chimica, Tecnologia dei materiali e chimica applicata, Metallurgia.*

PROGRAMMA

Chimica fisica dei processi siderurgici. [20 ore]

Equilibri omogenei ed eterogenei in sistemi di interesse siderurgico. Bagni metallici. Equilibri metallo – scoria. Equilibri di riduzione degli ossidi. Termodinamica dei processi siderurgici.

Teoria e pratica dei processi di riduzione. [30 ore]

Riducibilità degli ossidi. Sistemi costituiti da ossidi in progressiva riduzione. Equilibri di riduzione degli ossidi di ferro con riferimento all'effetto di ossidi estranei, in particolare dei componenti delle scorie siderurgiche. Riducenti. Riduzioni dirette e indirette. Combustibili. Preriscaldamento e recupero di calore. Classificazione e controllo di forni siderurgici.

Ghisa. [10 ore]

Preparazione del minerale. Altoforno ed impianti ausiliari. Altoforno elettrico e forni per ferroleghe. Seconda fusione. Inoculazione e colata. Sferoidizzazione e malleabilizzazione. Ghise legate. Caratteristiche di impiego delle ghise.

Acciaio. [10 ore]

Processi di preraffinazione ed affinazione. Disossidazione e colata. Fabbricazione di acciai speciali. Lavorazioni ed utilizzazione dell'acciaio. Trattamenti termici e caratteristiche strutturali e di impiego degli acciai. Comportamento in opera.

ESERCITAZIONI. Esame di schemi costruttivi e dimensionamento di apparecchiature ed impianti siderurgici. [15 ore]

BIBLIOGRAFIA

A. Burdese, *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET, Torino, 1992.

W. Nicodemi, R. Zoja, *Processi e impianti siderurgici*, Tamburini, Milano.

G. Violi, *Processi siderurgici*, ETAS Kompass, Milano.

ESAME. È previsto un solo accertamento finale tramite un colloquio orale. Il calendario viene stabilito in occasione di ogni appello in modo da favorire la massima flessibilità delle prove nel rispetto delle regole di Facoltà.

P4980 Sistemi elettrici per l'energia

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

Docente: Federico Piglione

Il corso si propone di fornire allo studente gli aspetti essenziali della progettazione e gestione dei sistemi elettrici in ambito industriale. Dopo alcuni richiami di elettrotecnica e macchine elettriche, vengono illustrate le principali problematiche attinenti alla produzione e trasmissione dell'energia elettrica. Successivamente vengono trattati i fondamenti degli impianti di distribuzione elettrica in media e bassa tensione, con particolare riferimento ai problemi della sicurezza elettrica ed agli aspetti economici e normativi.

REQUISITI. *Elettrotecnica + Macchine elettriche.*

PROGRAMMA

Parte I. Richiami di elettrotecnica e macchine elettriche.

Brevi richiami sui principali argomenti di elettrotecnica e macchine elettriche necessari per la comprensione del corso. [6 ore]

Parte II. Generalità sul sistema di produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. Centrali, linee di trasmissione, stazioni e cabine. Apparecchiature di manovra e protezione.

Generalità sul sistema di produzione e trasmissione dell'energia elettrica. Fornitura di potenza e energia. Pianificazione e previsione del carico. Diagramma di carico e sua copertura. Cenni sulle centrali di produzione: idrauliche e di pompaggio, termiche, nucleari. Gruppi turbogas e Diesel. Centrali geotermoelettriche. Fonti alternative: eoliche, solari, a marea. [6 ore]

Strategie di regolazione delle reti di trasmissione. Cenni sulle equazioni di *load-flow*. Regolazione frequenza-potenza. Il problema della regolazione della tensione. Lo stato del neutro. [10 ore]

Definizione di AT, MT e BT. Cenni sulla rete di trasmissione e subtrasmissione. Stazioni primarie e cabine primarie. Rete di distribuzione MT e BT. Cenni sullo stato del neutro. Cenni costruttivi sulle linee AT, MT, e BT. [2 ore]

Interruzione dell'arco elettrico: componente di regime e transitoria. Requisiti di un interruttore. Tipologie di interruttori: olio ridotto, SF₆, aria compressa, deion, in vuoto. Sezionatori e interruttori di manovra. Relè: tipi e impieghi. [3 ore]

Sovratensioni di manovra e atmosferiche. Scaricatori. Coordinamento dell'isolamento. [1 ora]

Impianti di terra. Fenomeno del passaggio della corrente elettrica nel terreno. Cenni costruttivi sui dispersori. Corrente di terra e tensione totale di terra. Tensione di passo e di contatto. Misura della resistenza di terra nei sistemi di II e III categoria. Impianto di terra nelle stazioni elettriche. [3 ore]

Parte III. Fondamenti di sicurezza elettrica. Protezioni contro i contatti diretti e indiretti. Normativa antinfortunistica.

Sicurezza elettrica. Elettrocuzione. Curve di pericolosità della corrente. Resistenza del corpo umano. Limiti di tensione sopportabile secondo norma CEI 64-8. [2 ore]

Classificazione dei sistemi elettrici in base alla tensione (CEI 64-8 e DPR 547). Definizioni di massa e massa estranea. Contatto diretto e indiretto. Sistemi di distribuzione TT, TN e IT. [2 ore]

Protezione contro i contatti diretti. Ostacoli e allontanamento. Involucri e grado di protezione IP. Isolamento. Sezionamento. Interruttore differenziale e suo principio di funzionamento. Impiego dell'interruttore differenziale nella protezione contro i contatti diretti. Protezione per limitazione di corrente. Protezione contro le scariche capacitive. Sistemi SELV, PELV e FELV. [4 ore]

Protezione contro i contatti indiretti. Protezione nei sistemi TT. Coordinamento con interruttore differenziale. Protezione nei sistemi TN. Protezione nei sistemi IT. [4 ore]

Protezione senza interruzione automatica del circuito. Classi di isolamento e apparecchi in classe II. Sistemi a separazione elettrica. Locali isolanti. Locali equipotenziali. [2 ore]

Cenni sulla protezione contro i pericoli di incendio di natura elettrica. [2 ore]

Parte IV. Progetto dei sistemi di distribuzione dell'energia elettrica negli stabilimenti industriali. Valutazione dei fabbisogni elettrici. Schemi di distribuzione. Cabine di trasformazione. Dimensionamento delle condutture e delle protezioni. Quadri elettrici. Componenti elettrici. Cenni sulla realizzazione degli impianti di terra.

Progetto di un impianto elettrico industriale. Diagramma di flusso delle operazioni di progetto. Criteri relativi a: tensione di alimentazione, schema di distribuzione, affidabilità, costi, regola d'arte. Valutazione dei fabbisogni: fattori di contemporaneità e di utilizzazione. Valori medi di carico per unità di superficie. [2 ore]

Schemi di distribuzione in impianti industriali. Schemi in MT: radiale semplice, radiale doppio, doppia sbarra, anello. Schemi in BT: radiale semplice, radiale doppio, trasformatore di riserva a n trasformatori. Criteri di scelta della tensione di alimentazione e di distribuzione. [4 ore]

Cabine elettriche. Schema generale. Cabina a un solo trasformatore. Cabina a due trasformatori con sbarre congiunte o uniche. Dati sui componenti di cabina: sezionatori, interruttori fusibili condotti sbarre, trasformatori. Impianto di terra. Cabine a giorno e prefabbricate. [4 ore]

Correnti di impiego e sovracorrenti. Inserzione di un trasformatore. Avviamento di un motore asincrono. Inserzione di banchi di condensatori. Forni elettrici. Correnti di corto circuito. Contributo di alternatori e motori asincroni. Contributo dei banchi di condensatori. Tipologie di guasto e formule di calcolo relative. Guasti franco trifase, fase-terra, fase-fase. Cenni sul calcolo con i componenti simmetrici. [5 ore]

Tipologia delle condutture. Sbarre collettrici. Cavi: struttura e modalità di posa. Sigle dei cavi. Determinazione della sezione: criterio della portata e criterio della caduta di tensione. Esempio con uso delle tabelle. Pericolo d'incendio nell'uso dei cavi. Blindosbarra, *blindotrolley* e isolsbarra. Criteri di scelta tra blindosbarre e cavi. [4 ore]

Criteri generali sulla protezione delle linee. Protezione amperometrica. Problema dell'energia passante. Curve I^2t di cavi, interruttori e fusibili. Confronto delle curve I^2t di interruttore e cavo. Interruttori con caratteristiche U, L, D. Selettività totale e parziale. Selettività amperometrica e cronometrica. Protezione serie. Illustrazione cataloghi protezioni ed esempi pratici. [6 ore]

Componenti elettrici nei sistemi BT. Contattori. Generalità sui quadri elettrici. Quadri aperti, a giorno protetti metallici e isolanti, blindati. [4 ore]

Impianti di illuminazione. [2 ore]

Impianti di terra nei sistemi di I categoria. [2 ore]

Parte V. Contratti di fornitura dell'energia elettrica. Misura e tariffazione. Rifasamento. Autoproduzione. Valutazione dei costi delle opere elettriche.

Tariffazione elettrica e cenni storici. Funzionamento del contatore a induzione. Tariffa binomia. Sistemi tariffari ENEL: unico e multiorario. Criteri da adottare nei contratti di fornitura. Penalità per basso fattore di potenza. Rifasamento in ambito industriale. Disposizione centralizzata e distribuita. [4 ore]

Autoproduzione. Criteri economici e tecnici. Normativa. [4 ore]

Cenni sulla valutazione dei costi delle opere elettriche. [2 ore]

ESERCITAZIONI

Esercizi di calcolo e applicazione degli argomenti trattati nelle lezioni.

Esercitazioni al calcolatore con impiego di programmi per il dimensionamento di impianti elettrici in BT.

Visite ad installazioni elettriche in stabilimenti industriali. [20 ore]

BIBLIOGRAFIA

G. Conte, *Impianti elettrici*, 2. ed., Hoepli, Milano.

S. Gallabresi, *Impianti elettrici industriali*, Delfino, Milano.

V. Cataliotti, *Impianti elettrici. Vol. III*, Flaccovio, Palermo.

ESAME

Prove d'esame. L'esame consiste in una prova scritta, della durata di 3 ore, che ha luogo nella data dell'appello. La prova scritta verte sull'intero programma del corso e unisce domande di teoria a qualche semplice esercizio di dimensionamento. Per ovvi motivi non è ammessa la consultazione di libri di testo o appunti. La prova scritta consente di ottenere un punteggio massimo di 27/30 che può essere accettato come voto finale dell'esame. In alternativa, coloro che superato la prova scritta con un punteggio minimo di 24/30 possono optare per una successiva prova orale (nuovamente sull'intero programma del corso) che consente di ottenere votazioni superiori. In questo secondo caso il punteggio ottenuto nella prova scritta non è garantito come voto minimo finale. È inoltre possibile, con modalità da concordarsi lo svolgimento di tesine monografiche che, pur non esonerando minimamente dalle prove ufficiali verranno tenute in considerazione nella valutazione finale.

Modalità organizzative. Per motivi organizzativi è necessario prenotarsi alla prova scritta almeno tre giorni prima scrivendo il proprio nominativo nell'apposito elenco presso il dipartimento di Ingegneria elettrica industriale. Occorre inoltre presentarsi alla prova scritta muniti di statino e documento di riconoscimento. Le eventuali prove orali hanno luogo in date successivamente concordate.

P5110 **Sperimentazione ed affidabilità dell'autoveicolo**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4+(4) (ore settimanali)
 Docente: Massimo Rossetto (collab.: Alberto Audenino)

Il corso si propone di fornire alcune conoscenze fondamentali per affrontare le problematiche della sperimentazione e dell'affidabilità dell'autoveicolo. Gli argomenti trattati riguardano la descrizione delle attività di sperimentazione all'interno di un'industria automobilistica, la statistica descrittiva e la teoria dei campioni, il progetto degli esperimenti e l'analisi della varianza. Vengono poi introdotti i concetti base dell'affidabilità. I problemi della fatica e delle prove di durata vengono trattati nell'ottica della sperimentazione del veicolo. Sono inoltre descritte alcune tecniche sperimentali di largo impiego.

PROGRAMMA

1. *Funzioni della sperimentazione in un'azienda automobilistica.* [2 ore]

Definizione, obiettivi e fasi di intervento nel ciclo del prodotto. Norme di prova e classificazione delle prove.

2. *Statistica descrittiva.* [6 ore]

Elementi di teoria della probabilità, istogrammi, parametri caratteristici delle distribuzioni, distribuzione normale, distribuzione lognormale, distribuzioni di Weibull, distribuzione binomiale e distribuzione di Poisson; algebra normale.

3. *Teoria dei campioni.* [8 ore]

Inferenza, intervalli di confidenza distribuzione *t* di Student e *chi* quadrato. Il concetto di rango e le carte di probabilità. Curve di regressione e coefficienti di correlazione; campioni sospesi ed incompleti.

4. *Progetto degli esperimenti.* [8 ore]

Esperimenti di valutazione e confronto fra prodotti, piani fattoriali completi ed incompleti, analisi della varianza (ANOVA), modelli matematici e superfici di risposta.

5. *Affidabilità.* [6 ore]

Definizione e calcolo dell'affidabilità nel caso statico, indici di affidabilità; affidabilità e fattore tempo: tasso di guasto e curve tipiche, tempo medio fino al guasto (MTTF) e tempo medio fra due guasti (MTBF); affidabilità di sistemi in serie ed in parallelo.

6. *Affidabilità e fatica.* [8 ore]

Curve SN probabilistiche, metodi statistici per la determinazione delle curve (metodo stair case e metodi di massima verosimiglianza). Ipotesi di danneggiamento cumulativo e metodi per la riduzione dei cumulativi di sollecitazione a partire dai dati rilevati.

7. *Analisi di qualità, analisi dei guasti, parameter design, robust design.* [2 ore]

8. *Tecniche sperimentali, con particolare riguardo all'estensimetria.* [6 ore]

9. *Applicazioni della dinamica strutturale per la valutazione del comfort dei veicoli.* [6 ore]

ESERCITAZIONI

1. Analisi statistica dei risultati di semplici misure effettuate dagli allievi o di dati sperimentali forniti dal docente determinazione degli intervalli di confidenza, utilizzo di carte di probabilità. [6 ore]
2. Esercizi sulla regressione. [2 ore]
3. Esercizi sui metodi di valutazione e confronto. [4 ore]
4. Esercizi di analisi della varianza. [4 ore]
5. Esercizi di calcolo dell'affidabilità di componenti e di sistemi. [4 ore]
6. Esercizi di elaborazione di dati di durata e di fatica. [4 ore]
7. Esercizi di riduzione degli spettri di carico e di danneggiamento cumulativo. [4 ore]
8. Esercitazioni sperimentali: estensimetria, prove di trazione, prove di durezza (organizzate con il progetto degli esperimenti), prove di ammortizzatori. [16 ore]

Viene richiesta la stesura delle relazioni delle attività svolte in laboratorio e delle analisi statistiche effettuate sui dati ottenuti.

BIBLIOGRAFIA. Dispense fornite dal docente. Eventuali testi di approfondimento verranno segnalati dal docente durante il corso.

ESAME. L'esame consiste in una prova orale in cui vengono discusse anche le relazioni sulle attività sperimentali effettuate.

P5390 Studi di fabbricazione

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

Docente: Agostino Villa

Eseguire uno studio di fabbricazione significa organizzare e gestire un progetto sia di un nuovo prodotto che del processo produttivo innovativo che più economicamente consenta di ottenere il prodotto suddetto. In tale ottica, il corso affronta i seguenti problemi della progettazione industriale congiunta di prodotto e processo produttivo: (a) identificazione dei bisogni del mercato potenziale; (b) definizione di un programma di produzione adeguato e compatibile con i vincoli tecnologici di processo produttivo a disposizione; (c) definizione di un programma di innovazione del processo produttivo in modo da massimizzarne l'efficienza e l'efficacia.

REQUISITI

Il corso è l'insegnamento conclusivo dell'orientamento *Produzione*; pertanto in esso verranno largamente utilizzati concetti e strumenti sviluppati nei corsi precedenti dello stesso orientamento.

PROGRAMMA

Il corso è organizzato in tre parti:

- definizione dei concetti che consentono di formulare il problema della progettazione in termini di processo dinamico di generazione di nuove conoscenze a mezzo di conoscenze;
- analisi degli strumenti metodologici per organizzare (cioè modellare e pianificare) il processo di progettazione;
- analisi di strumenti operativi per organizzare le attività tipiche dei tre momenti della progettazione industriale.

In tale ottica il corso viene sviluppato come il naturale completamento degli insegnamenti costituenti l'orientamento *Produzione*, dei quali il corso applica i contenuti meto-

dologici ed utilizza strumenti e tecniche nella soluzione di problemi di progettazione congiunta di prodotto e di sistema produttivo.

1. I concetti

- 1.1. Processo di progettazione e sua organizzazione.
- 1.2. Attività di progettazione e loro programmazione.
- 1.3. Dinamica dell'innovazione.

2. Gli strumenti.

- 2.1. Procedure di identificazione delle specifiche.
- 2.2. Procedure di costruzione dell'albero delle funzioni dell'oggetto in sviluppo.
- 2.3. Procedure di costruzione del grafo delle interazioni tra funzioni dell'oggetto in sviluppo.
- 2.4. Modelli di grafo delle attività di progetto e operazioni su di esso.
- 2.5. Procedure di schedulazione di attività di progetto.

3. Progetto congiunto di prodotto e processo.

- 3.1. Progetto di prodotto orientato alla lavorabilità.
- 3.2. Progetto di sistema di produzione.

4. Recenti sviluppi: *design for quality; design for economics; life cycle design.*

ESERCITAZIONI

La caratteristica di corso conclusivo dell'orientamento è rimarcata dal fatto che gli allievi sono tenuti ad analizzare e risolvere, organizzati in piccoli gruppi, con il supporto del docente e nelle ore di esercitazione in aula, uno specifico problema di progetto (riferito all'ambiente produzione) con stesura di una relazione di presentazione delle procedure usate e dei risultati ottenuti.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento: Appunti forniti dal docente.

Testi ausiliari:

- G. Chrystolouris, *Manufacturing systems : theory and practice*, Springer, 1992.
 N.P. Suh, *The principles of design*, Oxford Univ. Press, 1990.
 A. Kusiak, *Intelligent manufacturing systems*, Prentice-Hall, 1990.
 A. Kusiak (ed.), *Intelligent design and manufacturing*, Wiley, 1992.
 U. Tetzlaff, *Optimal design or flexible manufacturing systems*, Springer, 1990.

ESAME

L'esame, orale, sarà organizzato in due fasi:

1. interrogazione su strumenti metodologici ed operativi per la progettazione (es.: dato uno strumento, come viene formalmente modellato, come viene utilizzato, quali risultati sono ottenibili ed in quale ambito del problema di progettazione);
2. interrogazione sulla tesina presentata e corretta dal docente.

Al fine di consentire la correzione delle tesine, queste dovranno essere tutte consegnate con un anticipo di 10 giorni rispetto la data di inizio della sessione di esami di giugno-luglio). Ad ogni fase d'esame corrisponderà una valutazione delle risposte fornite dall'allievo. Il voto finale risulterà dalla media delle due valutazioni suddette, purché ciascuna di esse sia almeno sufficiente.

P5410 **Tecnica del controllo ambientale**

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+3 (ore settimanali); 56+34+8 (nell'intero periodo)
 Docente: Gian Vincenzo Fracastoro (collab.: Marco Perino)

La qualità dell'ambiente inteso sia come spazio esterno e sia come spazio confinato, è oggetto di grande attenzione da parte del mondo scientifico-professionale e della società in generale, come testimoniato tra l'altro dal grande sviluppo della legislazione in materia.

Il corso si rivolge agli allievi ingegneri che intendano acquisire le conoscenze di base e gli strumenti operativi per poter affrontare problemi quali il monitoraggio ed il controllo dell'inquinamento atmosferico, del *comfort* termoigrometrico e della qualità dell'aria negli ambienti confinati, l'illuminazione degli edifici civili e industriali, il controllo del rumore e la valutazione di impatto ambientale.

REQUISITI. *Fisica tecnica.*

PROGRAMMA

1. Cenni di fisica dell'atmosfera. Radiazione solare. Bilancio radiativo della Terra. Effetti globali dell'inquinamento atmosferico.
2. Inquinamento atmosferico su microscala. Meccanismi di formazione degli inquinanti antropici.
3. Classi di stabilità di Pasquill. Dispersione degli inquinanti. Modelli di calcolo.
4. Monitoraggio, controllo e legislazione sull'inquinamento. Filtrazione degli inquinanti.
5. Qualità dell'aria e inquinamento degli ambienti confinati.
6. Ventilazione naturale e meccanica e trattamento fisico-chimico dell'aria. Cappe di aspirazione per uso industriale.
7. *Comfort* termoigrometrico e condizioni di *stress* termico in ambienti di lavoro.
8. Cenni sulle tecniche di climatizzazione. DPR 412 e normativa UNI.
9. Richiami di acustica fisica e fisiologica. Effetti del rumore e delle vibrazioni sull'uomo e l'ambiente.
10. Proprietà acustiche dei materiali. Misura e controllo del rumore in campo civile, industriale e nei trasporti.
11. Tecniche di controllo del rumore. Metodi teorici e sperimentali. Legislazione e normative (DPCM 1.3.91 e DL 277/91).
12. Richiami di illuminotecnica. Requisiti illuminotecnici degli ambienti. Illuminazione naturale.
13. Illuminazione artificiale di interni ed esterni. Riferimenti normativi.
14. Valutazione di impatto ambientale.

ESERCITAZIONI

Esercitazioni numeriche sui seguenti argomenti:

- calcolo della concentrazione a terra di SO_x emessi dal camino di una centrale termoelettrica;
- valutazione della qualità dell'aria in un ambiente;
- valutazione del *comfort* termoigrometrico in un locale per ufficio;
- verifica ai sensi del DL 277 del rumore in ambiente industriale e del disturbo alla popolazione ai sensi del DPCM 1.3.91;
- illuminazione naturale e artificiale di un locale per uffici.

LABORATORIO

Misure e dimostrazione di *software* nei seguenti settori:

- qualità dell'aria,
- benessere termoigrometrico,
- inquinamento acustico,
- fotometria.

BIBLIOGRAFIA

G.V. Fracastoro, Appunti del corso. Materiale vario (leggi e normative).

W. Formenton, *L'aria e l'azienda*, Vicenza, Laboratori Ecochimica.

C.M. Harris, *Manuale di controllo del rumore*, Tecniche Nuove, Milano, 1983.

G. Alfano, F. D'Ambrosio, F. De' Rossi, *Fondamenti di benessere termoigrometrico*, CUEN, Napoli, 1987.

CIBS code for interior lighting, Chartered Institution for Building Services, Londra, 1985.

ESAME

Esame orale al termine del corso. Per presentarsi all'esame è necessario consegnare preventivamente le relazioni relative alle esercitazioni svolte in aula e in laboratorio.

P 5440 Tecnica della sicurezza ambientale

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 70+25 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Norberto Piccinini (collab.: Italo Mazzarino, Guido Sassi)

Nel quadro dell'ampio significato dei termini "rischio" e "sicurezza", il corso intende fornire gli strumenti per individuare le pericolosità nelle varie attività e definire procedimenti, tecnici od organizzativi, per raggiungere obiettivi di sicurezza. Il corso intende inoltre trasferire le valutazioni dei rischi in processi decisionali per una corretta progettazione e per una attenta gestione dei rischi imprenditoriali od ambientali.

REQUISITI

Sarebbe opportuno che l'allievo avesse superato un insegnamento di impianti.

PROGRAMMA

1. *Incidenti e rischi nelle attività umane.* [6 ore]

Infortunati sul lavoro e malattie professionali. Evoluzione dei concetti di "rischio" e "sicurezza". Scale e parametri per valutazioni di tollerabilità dei rischi. Le valutazioni di impatto ambientale. *Environmental audits*.

2. *Pericolosità di prodotti ed operazioni industriali.* [20 ore]

Tossicità delle sostanze chimiche. Reazioni di combustione ed esplosive. Elementi di protezione contro gli incendi. Rischi legati all'uso dell'energia elettrica.

3. *Metodi di studio dei rischi nelle attività antropiche* (impianti industriali e grandi opere infrastrutturali). Metodi basati sul giudizio ingegneristico (indici di rischio, *safety audits*, *check list*). Approccio storico a mezzo banche dati incidenti. [4 ore]

Valutazioni probabilistiche dei rischi. [16 ore]

- Metodi per l'individuazione delle pericolosità di origine interna agli impianti (analisi di operabilità, Hazop, analisi dei guasti e loro effetti; FMEA).
- Valutazione della risposta di un impianto al verificarsi di un guasto per mezzo di alberi logici e decisionali (diagramma delle sequenze incidentali, albero degli eventi, albero dei guasti, diagramma logico cause - conseguenze).
- Stima della frequenza di eventi incidentali (risoluzione di alberi logici).
- Analisi di sequenze incidentali di tipo dinamico.

4. *Principi e metodi dell'affidabilità tecnologica.* [8 ore]

Affidabilità di un componente, di sistemi operativi (in serie o in parallelo, a logica maggioritaria), di sistemi in attesa di intervento. Banche dati affidabilità. Analisi di sistemi tramite catene di Markov.

5. *Valutazione degli errori umani.* [2 ore]

Cause e tipi di errore umano. Modelli e dati per la stima dell'affidabilità umana.

6. *Danni all'ambiente.* [14 ore]

Uso irrazionale delle risorse, cattiva gestione del suolo e dei reflui (solidi, liquidi e gassosi).

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella preparazione di relazioni tecniche dai differenti contenuti. Gli argomenti trattati dovranno quindi essere presentati in modo schematico evitando la forma colloquiale. Per la loro stesura si dovranno seguire i principi di massima contenuti nel volume *Saper comunicare: cenni di scrittura tecnico scientifica*, pubblicato dall'Ateneo nel 1993. In particolare, in ogni relazione dovrà essere presente l'*indice* con l'adeguato livello di dettaglio. Questo deve contenere quanto meno lo *scopo* e la *bibliografia* e la lista dei *simboli*. Oltre agli aspetti sostanziali anche quelli formali di presentazione devono essere curati.

Il primo giorno di lezione il docente fornirà dettagliate istruzioni sui contenuti ed i tempi di consegna delle seguenti esercitazioni:

- Costituzione di un prototipo di banca dati incidenti e analisi di pericolosità.
- Applicazioni delle differenti metodologie di analisi dei rischi.
- Elaborazione di una specifica per omologazione di un prototipo.
- Analisi delle relazioni cause - effetti su un componente di macchina uscito di servizio.
- Relazione dettagliata su un tema ambientale o di sicurezza di interesse dell'allievo.

BIBLIOGRAFIA

Parte del materiale didattico sarà messo a disposizione durante il corso.

Norme per la prevenzione degli infortuni.

N. Piccinini, *Affidabilità e sicurezza nell'industria chimica*, SCCFQIM, Barcellona, 1985.

S. Messina, N. Piccinini, G. Zappellini, *Valutazione probabilistica di rischio*, 3ASI. D.A. Crowl, J.F. Louvar, *Chemical process safety*, Prentice-Hall, 1990.

ESAME

L'esame, costituito da uno scritto e un orale, verte esclusivamente sul programma svolto a lezione, che pertanto può subire variazioni di anno in anno. Lo scritto è relativo solo alle applicazioni delle metodologie sull'analisi dei rischi (durata della prova: 3 ore; sono consultabili appunti, libri od esercizi svolti).

P5450 **Tecnica della sicurezza elettrica**

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 80+20 (nell'intero periodo)

Docente: Vito Carrescia

Il corso intende fornire agli allievi i fondamenti della tecnica della sicurezza elettrica, cioè i modi con cui rendere sicuro per le persone l'uso dell'energia elettrica. Dopo una panoramica sugli effetti della corrente elettrica sul corpo umano si studiano i sistemi di protezione contro i contatti diretti e indiretti, con e senza interruzione automatica del circuito. Si affronta anche il problema della protezione delle condutture contro le sovracorrenti, della sicurezza dei circuiti di comando, del sezionamento, dei luoghi con pericolo di esplosione, delle radiazioni non ionizzanti.

REQUISITI. *Elettrotecnica*

PROGRAMMA

1. *Le basi legislative della sicurezza.*
Gli enti normatori nazionali e internazionali. La conformità alle norme degli apparecchi e degli impianti. Il diritto nazionale e internazionale nel settore elettrico. La marcatura CE. La legge 46/90 sulla sicurezza degli impianti. Il marchio di qualità. rapporto tra norme di legge e norme di buona tecnica. Applicabilità delle norme agli impianti preesistenti. Alcuni dati statistici sugli infortuni elettrici. [8 ore]
2. *Principi generali di sicurezza.*
Definizione di sicurezza e di rischio. Sicurezza di un sistema. Relazione tra sicurezza e affidabilità. Individuazione del livello di sicurezza accettabile. Il rischio indebito. L'errore umano. [4 ore]
3. *Brevi richiami di elettrofisiologia.*
Effetti pato-fisiologici della corrente elettrica sul corpo umano. Limiti di pericolosità della corrente elettrica. Resistenza elettrica del corpo umano. [4 ore]
4. *Il terreno come conduttore elettrico.*
La resistenza di terra. I potenziali sulla superficie del terreno. Dispensori in parallelo. Tensione totale e tensione di contatto a vuoto e a carico. [2 ore]
5. *Isolamento funzionale, principale, supplementare, rinforzato.*
Definizione di massa. Curva di sicurezza. Massa estranea. Classificazione dei sistemi elettrici in relazione alla tensione. [4 ore]
6. *Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TT.*
Necessità della protezione differenziale. L'equipotenzialità. Il relè di tensione. Il conduttore di neutro nei sistemi TT. [4 ore]
7. *Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN.*
Rispetto della curva di sicurezza. Tensioni sul neutro. Il guasto non franco a terra. Reti pubbliche di distribuzione dell'energia: sistemi TT e TN. [4 ore]
8. *Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi IT.*
Sovratensioni per guasto resistivo e induttivo a terra. [2 ore]
9. *Protezione contro i contatti indiretti senza interruzione automatica del circuito.*
Trasformatore d'isolamento, apparecchi di classe seconda e di classe zero. [2 ore]
10. *Protezione contro i contatti indiretti in alta tensione.*
Dispensore profondo. Misura delle tensioni di contatto e di passo. Interfaccia con l'impianto di terra di bassa tensione. Messa a terra del neutro. Cenni all'esecuzione dell'impianto di terra. [4 ore]
11. *Protezione contro i contatti diretti: misure totali e parziali; passive e attive.*
Isolamento, barriere e involucri. Gradi di protezione IP. Protezione contro i contatti diretti offerta dagli interruttori differenziali. [4 ore]

12. *Sistemi elettrici di categoria zero: bassissima tensione di sicurezza, di protezione e funzionale.* Confronto delle misure di protezione contro i contatti diretti e indiretti. Luoghi a maggior rischio elettrico, luoghi conduttori ristretti. [4 ore]
13. *Misure di protezioni particolari in ambiente medico.*
Microshock. Sicurezza delle apparecchiature elettromedicali. Elettrobisturi. [2 ore]
14. *Sezionamento e comando.*
Comando d'emergenza. Comando funzionale. L'interruttore generale. Interruzione per motivi non elettrici. Circuiti di comando: sicurezza contro l'azionamento intempestivo. [4 ore]
15. *Portata di un cavo.*
Curva di sovraccaricabilità di un cavo. Dispositivi di protezione di sovracorrente. Requisiti del dispositivo di protezione contro il sovraccarico. [4 ore]
16. *Brevi richiami alla corrente di cortocircuito.*
Sollecitazioni termiche in condizioni di cortocircuito. Requisiti del dispositivo di protezione contro cortocircuito. [4 ore]
17. *Applicazione dei dispositivi di protezione contro il sovraccarico ed il cortocircuito.*
Dispositivo di protezione unico e dispositivi distinti. Protezione contro le sovracorrenti nei sistemi TT, TN e IT. [4 ore]
18. *Protezione dei motori contro il sovraccarico e il cortocircuito.*
Requisiti dell'alimentazione di sicurezza, con particolare riferimento all'illuminazione di sicurezza. [4 ore]
19. *Classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione:*
individuazione dei centri di pericolo, delle condizioni di ventilazione, della estensione e qualifica delle zone AD. [4 ore]
20. *Modi di protezione per le costruzioni elettriche da utilizzare in atmosfera esplosiva.*
Tipi di impianti elettrici a sicurezza. Scelta del tipo di impianto adatto alla zona AD. [4 ore]

ESERCITAZIONI

1. Progetto dell'impianto di terra di una stazione di trasformazione. [4 ore]
2. Confronto e analisi delle misure di protezione contro i contatti diretti e indiretti. [4 ore]
3. Misure della resistenza di terra e delle tensioni di contatto di passo in una officina elettrica dell'ENEL. [4 ore]
4. Determinazione della lunghezza massima protetta di un circuito protetto da un fusibile. [4 ore]
5. Visita ai laboratori dell'Istituto Italiano del Marchio di Qualità e del Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano, Milano. [8 ore]

BIBLIOGRAFIA

- V. Carrescia, *Fondamenti di sicurezza elettrica*, Hoepli.

P5470 **Tecnica delle costruzioni meccaniche**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8+4+4 (ore settimanali); 52+44 (nell'intero periodo)

Docente: Graziano Curti (collab.: Francesca Curà)

Il corso ha l'obiettivo di riprendere e approfondire argomenti della scienza delle costruzioni, con particolare riferimento a quelli che costituiscono il fondamento della progettazione di costruzioni meccaniche (strutture, impianti e recipienti in pressione). In esso vengono ricavate le relazioni teoriche di base che regolano lo stato di sollecitazione nelle costruzioni suddette. Vengono inoltre presentate le normative più importanti del settore specifico e vengono anche illustrate con riferimento a casi pratici le modalità di applicazione delle stesse.

Il corso si propone in definitiva di fornire agli allievi le metodologie e le informazioni di base necessarie per la progettazione e la realizzazione delle costruzioni meccaniche sopra specificate.

REQUISITI. *Scienza delle costruzioni.*

PROGRAMMA

Stato di tensione in un corpo. Direzioni e tensioni principali. [6 ore]

Ipotesi di rottura. Tensione equivalente. [6 ore]

Trave curva e spessa. [2 ore]

Piastre rettangolari inflesse. [8 ore]

Piastre circolari. [4 ore]

Gusci spessi. [4 ore]

Membrane. Volte sottili. [4 ore]

Involucri cilindrici, sferici; fondi ellittici. [6 ore]

Normativa VSR. Applicazione pratica. [4 ore]

Normative UNI 100 e 7670. Applicazioni. [8 ore]

ESERCITAZIONI

La prima parte delle esercitazioni consiste nello svolgimento in aula di esercizi riguardanti gli argomenti trattati a lezione. La seconda parte delle esercitazioni comprende lo svolgimento di calcoli di verifica di strutture più complesse.

Esercizi di ripasso di scienza delle costruzioni. [4 ore]

Cerchi di Mohr. Ipotesi di rottura. Esercizi. [4 ore]

Tensioni tangenziali nella flessione. Tensioni principali. Calcolo delle curve isostatice. Esercizi. [4 ore]

Travi curve. Esercizi. [4 ore]

Piastre rettangolari. Esercizi. [4 ore]

Piastre circolari. Esercizi. [4 ore]

Calcoli di verifica di un condensatore. [6 ore]

Calcoli di verifica di componenti di una piattaforma mobile. [6 ore]

Calcoli di verifica di gru monorotaia per denuncia ISPESL. [8 ore]

BIBLIOGRAFIA

Timoshenko, *Theory of shells and plates.*

Appunti docente.

Normative UNI e VSR.

P5490 **Tecnica ed economia dei trasporti**

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

Docente: Adelmo Crotti (collab.: Cristina Pronello, Bruno Scuero)

Il corso ha lo scopo di fornire i fondamenti dell'ingegneria dei trasporti attraverso la trattazione delle principali teorie che stanno alla base della pianificazione, della tecnica e della gestione dei sistemi di trasporto.

Si configura pertanto come corso formativo e informativo di settore e propedeutico per i corsi specialistici del 5. anno.

REQUISITI. *Istituzioni di economia, Meccanica applicata alle macchine + Macchine, Elettrotecnica.*

PROGRAMMA

Premessa. [6 ore]

L'ingegneria dei trasporti nella formazione e nella professione degli ingegneri. Basi storiche dell'attuale assetto dei trasporti. La politica dei trasporti in Italia e nei paesi industrializzati. L'organizzazione dei trasporti in Italia.

Elementi di economia dei trasporti. [6 ore]

La spesa nazionale nel settore trasporti ed il conto nazionale dei trasporti. Le forme di mercato e le sue imperfezioni. I costi di produzione. Le tariffe. Le sovvenzioni alle imprese, la politica fiscale. Analisi della domanda e dell'offerta di trasporto.

La pianificazione dei trasporti. [6 ore]

Modelli di domanda e di offerta. Modelli previsionali. Tecniche quantitative per la pianificazione dei trasporti.

Elementi di tecnica dei trasporti. [8 ore]

Caratteristiche e prestazioni dei veicoli terrestri. Il moto del veicolo: forze attive e resistenze. Caratteristiche meccaniche dei motori di trazione. Fasi caratteristiche del moto.

La congestione nei sistemi di trasporto. [8 ore]

Caratteristiche e prestazioni delle infrastrutture stradali e ferroviarie. Le teorie del deflusso: capacità e potenzialità di trasporto. I sistemi a guida libera e a guida vincolata. Sistemi di esercizio e regimi di circolazione.

Esercizio dei sistemi di trasporto. [6 ore]

Le prestazioni dei sistemi di trasporto. Sistemi di trasporto integrati, nodi di interscambio, intermodalità. I trasporti metropolitani.

Organizzazione ed economia delle imprese di trasporto. [6 ore]

Le risorse per la produzione del trasporto. Bilanci ed indicatori gestionali. Costi e ricavi totali, medi e marginali. Punto di pareggio e di massimo profitto. Organizzazione delle imprese.

Valutazione degli investimenti e dei progetti. [4 ore]

L'analisi finanziaria. L'analisi economica. L'analisi costo - efficienza.

ESERCITAZIONI

1. Definizioni e nomenclatura attinenti i veicoli e le infrastrutture stradali. Il moto del veicolo isolato, forze attive e resistenze. [4 ore]
2. L'equazione del moto. Calcolo delle prestazioni degli autoveicoli a regime e nelle fasi di accelerazione e frenatura. [4 ore]
3. Definizioni e nomenclatura attinenti i veicoli e le infrastrutture ferroviarie. Formule sperimentali per il calcolo delle resistenze ordinarie ed accidentali. [4 ore]
4. Diagrammi di trazione e integrazione tabellare dell'equazione del moto. [4 ore]
5. Capacità e livello di servizio delle strade. Applicazioni dal manuale HCM. [4 ore]
6. Potenzialità di circolazione delle linee ferroviarie. Regimi di circolazione. [4 ore]
7. Sistemi a barriera e loro dimensionamento. [4 ore]
8. Dimensionamento dei servizi di trasporto, risorse occorrenti. Orari grafici. [4 ore]
9. Costo del trasporto. Bilanci. Indicatori gestionali. [4 ore]
10. Introduzione alla pianificazione dei trasporti. Fasi operative. Valutazione degli investimenti e dei progetti. [4 ore]
11. Valutazioni economiche. [4 ore]
12. Valutazioni multiobiettivi e multicriteri. [4 ore]

BIBLIOGRAFIA

Mario Del Viscovo, *Economia dei trasporti*, UTET.
 Vincenzo Torrieri, *Analisi del sistema dei trasporti*, Falzea.
 Appunti del corso.

ESAME

Prova d'esame scritta e orale.

Esame scritto. Risoluzione di esercizi su argomenti trattati nelle esercitazioni, con possibilità di consultazione di testi e appunti.

Esame orale. Per l'ammissione alla prova orale occorre aver superato con esito almeno sufficiente la prova scritta.

P5574

Tecnologia dei materiali e chimica applicata

(Corso ridotto)

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 50 (ore, nell'intero periodo)

Docenti: Ignazio Amato, Carlo Gianoglio

Il corso si propone di rendere note agli allievi le conoscenze sul comportamento dei materiali allo scopo di indirizzare la scelta nelle costruzioni meccaniche; vengono fornite inoltre tutte le informazioni per conoscere le trasformazioni delle materie prime nei componenti meccanici finali; parte del corso è infine dedicata ai combustibili, allo scopo di fornire le informazioni di base sui processi di combustione, ed ai lubrificanti, con le informazioni più rilevanti sui meccanismi riguardanti la lubrificazione.

REQUISITI. È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Chimica*.

PROGRAMMA

Scienza dei materiali. [10 ore]

I solidi. L'ordine nei solidi. Cristalli e strutture cristalline. Solidi ionici, solidi covalenti, solidi metallici: legami, struttura, proprietà. Solidi policristallini microstruttura. Stato vetroso. Stato polimeri. Difetti nei solidi: di punto, di linea, di superficie. Dif-

fusione nei solidi. Diffusione nei solidi. Comportamento dei solidi: energia superficiale, bagnabilità, capillarità, adsorbimento. Diagrammi di stato.

Proprietà materiali. [10 ore]

Resistenza a trazione, compressione. Modulo elastico. Limite di snervamento. Durezza. Fatica meccanica. Dilatazione termica e fatica termica. Scorrimento (*creep*). Urto meccanico, urto termico. Comportamento meccanico materiali meccanici, ceramici, polimerici.

Materiali ceramici. [10 ore]

Classificazione funzionale. Preparazione polveri. Tecnologia di fabbricazione componenti ceramici. Ceramici strutturali. Ceramici termomeccanici. Vetri e vetroceramici. Metallo-ceramici ed utensili da taglio. Rivestimenti: materiali e processi.

Materiali polimerici. [10 ore]

Classificazione materiali polimerici. Materiali termoplastica: processi proprietà. Materiali termoindurenti: processi, proprietà. Materiali elastomerici (gomme): processi, proprietà. Riciclo materiali polimerici a fine vita.

Materiali compositi.

I materiali di rinforzo: fibre di vetro, fibre carbonio, fibre ceramiche. Comportamento meccanico compositi. Compositi a matrice ceramica. Nanocompositi.

Acqua, combustibili, lubrificanti. [5 ore]

Durezza acque ed addolcimento. Depurazione acque. Combustibili: classificazione. Poteri calorifici. Temperatura di combustione, temperatura di accensione. Combustione ed inquinamento. Abbattimento inquinanti. Lubrificanti e lubrificazione.

BIBLIOGRAFIA

C. Brisi, M. Lucco Borlera, *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*, Levrotto & Bella, Torino.

R. Sorsale, *Materiali ceramici ordinari e speciali*, Ed. Ambrosiana, Milano.

W. Hellerich, *Prontuario materie plastiche*, Tecniche Nuove, Milano.

K. Nagdi, *Manuale gomma*, Tecniche Nuove, Milano

I. Amato, monografie.

P5575

Tecnologia dei materiali e chimica applicata + Tecnologia dei materiali metallici

Corso non attivato nell'anno 1995/96, vicariato da "P5584, Tecnologia dei materiali metallici"

P5700 **Tecnologie industriali (tessili)**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 50+50 (nell'intero periodo)

Docente: Francantonio Testore

Il corso si propone di studiare i principali processi tecnologici in cui si articola la trasformazione delle fibre e dei fili in tessuto finito, i cicli di lavorazione e le condizioni ambientali per il loro razionale svolgimento, e di mettere i giovani futuri ingegneri a contatto con la realtà industriale per mezzo di visite a stabilimenti e laboratori e di esercitazioni su problemi pratici.

PROGRAMMA

L'insegnamento si divide in tre parti principali, concernenti a grandissime linee la formazione del filato, la formazione di superfici tessili piane, la nobilitazione dei filati e dei tessuti, oltre ad alcuni argomenti complementari. Di ciascuna parte vengono illustrate le esigenze di carattere tecnologico che influenzano la progettazione, il *layout*, le condizioni ambientali.

Formazione del filato

Classificazione delle fibre. Tecnologia della cardatura, della pettinatura, della filatura. Ciclo cardato e pettinato per fibre a taglio laniero ed a taglio cotoniero. Trattamenti tessili ai cavi di filatura chimica (*tow*) e di fili continui artificiali e sintetici (torcitura, testurizzazione, ecc.). Operazioni successive alla filatura.

Tecnologia generale di tessitura

Preparazione dell'ordito. Principali tipi di telai, tessuti a trama e catena, a maglia, non tessuti.

Nobilitazione

Rifinitone, classificazione e scopi delle principali operazioni. Finissaggio dei tessuti lanieri, cotonieri, serici, di fili sintetici. Tintura e stampa, cenni sulle fasi dei cicli e sulle principali macchine.

Analisi di laboratorio e controlli in reparto

Controlli tecnologici, illustrazione delle prove più importanti (scopi, metodologia, apparecchiature, ecc.) che si compiono su fibre, fili e filati, tessuti.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni alternano visite e prove sperimentali presso aziende tessili, chimico-tessili e meccano-tessili e presso laboratori pubblici e privati, alla elaborazione presso il Politecnico dei risultati sperimentali e nella discussione delle relazioni compilate con i dati raccolti.

BIBLIOGRAFIA

F. Testore, *Tecnologia della filatura*, Vol. 1 e 2, Elsa, 1975.

Manuale di tecnologia tessile, Cremonese, Roma, 1981.

Bollettini dell'International Textile Service, Zurigo.

Journal of the Textile Institute, Manchester.

F. Testore, *Nel segno dell'ITMA 83*, Nuove Tecniche Editoriali, Milano, 1984.

F. Testore, *Quo vadis, mecatronic ITMA 87*, NTE, Milano, 1988.

F. Testore, *Dispense di Tecnologie industriali tessili*, 1993-95.

ESAME

Gli esami sono svolti oralmente, della durata di un'ora circa. Generalmente allo studente vengono rivolte tre domande sugli argomenti illustrati durante il corso; egli deve anche essere in grado di schizzare le macchine e le apparecchiature oggetto di domanda. Inoltre egli deve dimostrare di conoscere bene cicli e macchinari delle aziende di cui ha redatto le relazioni successivamente alle visite.

P5710 Tecnologie metallurgiche

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 70+30+10 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Mario Rosso

Il corso è volto all'approfondimento dei processi e delle tecnologie di formatura impiegate per la fabbricazione di pezzi finiti. In particolare vengono studiati e confrontati i processi di deformazione plastica, di fonderia e di metallurgia delle polveri. Si considerano infine le tecniche di giunzione, in quanto complementari alle precedenti tecnologie.

Approfonditi i principi fondamentali su cui si basano le predette tecnologie, vengono esaminati i processi e gli impianti utilizzati, le classi di materiali idonei ai singoli processi ed i rispettivi settori di applicazione.

Il corso non trascura gli aspetti legati alla difettologia ed al controllo qualità, riferiti sia ai processi che ai prodotti finiti.

Uno stretto contatto con le realtà industriali più significative, esplicantesi anche con visite appositamente programmate, fornisce un contenuto pratico al corso e favorisce un migliore aggiornamento su evoluzione ed innovazione tecnologica.

REQUISITI. È necessaria la conoscenza degli argomenti di carattere metallurgico trattati nei corsi fondamentali.

PROGRAMMA*Deformazione plastica.* [10 ore]

Richiami di teoria della plasticità, criteri di scorrimento e meccanismi di deformazione. Principali processi di deformazione plastica e stati di tensione applicati. Fenomeni influenti: temperatura, incrudimento, velocità di deformazione, superplasticità, deformazione non uniforme, attrito, lubrificazione e lubrificanti impiegabili.

Processi di deformazione. [26 ore]

Fucinatura libera e in stampo chiuso, stampaggio a caldo, a semicaldo ed a freddo, stampaggio di precisione. Progettazione degli stampi. Estrusione diretta ed inversa. Trafilatura di tondi, fili e tubi. Laminazione a caldo ed a freddo, fenomeni nell'arco di contatto. Tensioni residue e difetti più comuni dopo lavorazione.

Formatura delle lamiere sottili. [8 ore]

Imbutitura, stiroimbutitura, curvatura e tranciatura. Valutazione degli sforzi, prove di imbutitura e criteri per valutare i limiti di formabilità. Coefficienti di anisotropia.

Fonderia. [16 ore]

Richiami ai principi di solidificazione delle leghe; leghe da fonderia. Diagramma di flusso e ciclo di lavorazione tipico di una fonderia. Modelli: tipi, progettazione e costruzione. Forme a perdere e permanenti, loro progettazione. Terre da fonderia e

processi di formatura con sabbia. Anime e loro fabbricazione con processi a scatola calda ed a scatola fredda, ramolaggio. Processi speciali di formatura: a guscio, in vuoto, magnetica. Processo Policast. Fonderia di precisione. Forme permanenti: conchiglia, pressocolata e colata centrifuga. Formatura di leghe e compositi allo stato semisolido: processi tipo Rheocasting e Thixoforming. Lavorazioni di finitura e controllo dei getti.

Metallurgia delle polveri. [12 ore]

Analisi del ciclo completo di produzione dei sinterizzati. Polveri: tipi e caratteristiche derivanti dal processo di fabbricazione. Miscelazione, compattazione e relativi impianti. Forme limiti ottenibili. Aspetti termodinamici del processo di sinterizzazione, sinterizzazione attivata, forni e atmosfere di sinterizzazione. Processi particolari di compattazione, pressatura isostatica a freddo ed a caldo, *powder injection molding*. Lavorazioni secondarie dei sinterizzati: trattamenti termici, calibrazione, infiltrazione e impregnazione. Controllo, finitura e applicazioni dei sinterizzati.

Costi. [3 ore]

Confronti tra le differenti tecnologie, alternative e criteri di scelta. Ottimizzazione tecnico-economica ed indici di costo.

Tecniche di giunzione. [5 ore]

Concetto di saldabilità e metallurgia della saldatura. Saldatura ad arco, a scoria conduttrice, a resistenza, a frizione, a gas, a laser ed a plasma. Brasatura. Giunzione mediante collanti.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula consistono nello sviluppo di esempi applicativi e di calcolo sugli argomenti oggetto delle lezioni. Comprendono calcoli relativi a stati di tensione ed alla valutazione degli sforzi necessari per un determinato processo di deformazione plastica, calcoli di forze e potenze richieste, scelta dei tipi di impianti utili Per i diversi processi studiati.

Per quanto riguarda i processi di fonderia: calcolo di materozze, attacchi e canali di colata, baricentro termico, progettazione delle forme.

Determinazione degli sforzi per la compattazione delle polveri e scelta delle presse. Calcolo di atmosfere e tempi di sinterizzazione.

Analisi economica e valutazione dei costi.

Le prove in laboratorio riguardano le caratteristiche di formabilità e microstrutturali dei materiali assoggettati alle diverse tecnologie ed osservazione e analisi di pezzi finiti.

BIBLIOGRAFIA

G. Dieter, *Mechanical metallurgy*, McGraw-Hill, Tokio, 1988.

G. Mazzoleni, *Tecnologia dei metalli. Vol. II, Fonderia*, UTET, Torino, 1980.

E. Mosca, *Metallurgia delle polveri*, AMMA, Torino, 1983.

Appunti del corso e fotocopie dei lucidi proiettati a lezione.

P5720 Tecnologie speciali

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 56+48+4 (nell'intero periodo)

Docente: Augusto De Filippi

Scopo del corso è l'ampliamento delle conoscenze sui processi tecnologici utilizzati dalle industrie manifatturiere, soprattutto per la produzione in media e grande serie nel settore meccanico, e su alcuni problemi a essi collegati. Sono quindi analizzate le macchine e i sistemi produttivi con automazione rigida o flessibile, il loro attrezzaggio e la scelta delle condizioni ottimali di lavorazione. Vengono inoltre discusse, nell'ambito della "produzione snella" e della "ingegneria simultanea", le relazioni tra progettazione, fabbricazione e montaggio, affrontando le tematiche del *design for manufacturability* (DFM) e del *design for assembly* (DFA). Sono inoltre considerati i problemi legati alla diffusione anche in campo meccanico di materiali innovativi, quali le plastiche e i compositi, dei quali sono analizzati le proprietà reologiche e i processi di trasformazione. Conclude il corso l'analisi di alcuni metodi non convenzionali di lavorazione.

REQUISITI. Sono da considerarsi propedeutici i corsi di *Scienza delle costruzioni* e di *Meccanica applicata alle macchine*, oltre naturalmente ai corsi nei campi del disegno e della tecnologia meccanica.

PROGRAMMA

1. *Produzione snella e ingegneria simultanea.* [14 ore]

Produzione e sua organizzazione. Cenni storici. Progettare per la fabbricazione e progettare per il montaggio: critica economica del progetto e scelta del processo produttivo, scelta del materiale e delle tolleranze di lavorazione; accorgimenti progettuali per ridurre i tempi di lavorazione e di montaggio; prototipazione rapida.

2. *Macchine utensili con automazione rigida o flessibile.* [20 ore]

Macchine utensili con automazione rigida: torni automatici plurimandrino e loro evoluzione verso il controllo numerico, macchine con teste operatrici multiple, linee a trasferimento.

Macchine utensili a controllo numerico e loro aggregazioni; dispositivi per il cambio automatico dell'utensile e del pezzo; centri di lavorazione; robot e veicoli a guida automatica (AGV); cellule robotizzate; sistemi flessibili di produzione (FMS).

Group technology.

3. *Criteri per l'uso ottimale e per l'attrezzaggio delle macchine utensili.* [14 ore]

Ottimizzazione delle condizioni di taglio: durata dell'utensile; lavorabilità del materiale e sua valutazione; leggi di Taylor e leggi non tayloriane; criteri di ottimazione; limiti all'ottimazione.

Attrezzature di lavorazione: classificazione e campi di utilizzo; componenti caratteristici e loro realizzazione costruttiva; attrezzature modulari e la loro progettazione automatica con l'integrazione CAD - sistema esperto.

4. *Metallurgia delle polveri, formatura delle*

plastiche e lavorazioni non convenzionali. [8 ore]

Metallurgia delle polveri: materiali e loro proprietà; fasi tecnologiche essenziali e lavorazioni complementari; confronti con altri processi di fabbricazione; criteri per la progettazione dei pezzi; controlli e collaudi. Materie plastiche e compositi: caratteristiche reologiche, settori di utilizzo, riciclaggio; processi per la fabbricazione di parti in plastica; costruzione di parti in composito e loro lavorazione. Metodi non convenzionali di lavorazione.

ESERCITAZIONI

Applicazioni dei concetti DFM e DFA. [8 ore]

Ottimazione delle condizioni di taglio. [12 ore]

Studio di linea a trasferimento. [4 ore]

Progettazione di componenti di attrezzature di bloccaggio. [8 ore]

Lavorazioni con macchine utensili a CN con applicazione delle tecniche CAD / CAM. [4 ore]

Visite di impianti produttivi presso aziende. [16 ore]

BIBLIOGRAFIA

S. Kalpakjian, *Manufacturing engineering and technology*, Addison-Wesley.

M. Rossi, *Attrezzature meccaniche e lavorazioni in serie*, Tecniche Nuove.

ESAME. Non essendo previsti accertamenti durante il corso, esiste soltanto l'esame finale che prevede esclusivamente la prova orale. Alla valutazione contribuisce il giudizio sulle relazioni preparate durante le esercitazioni.

P5840 Teoria delle strutture

Anno:periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 60+60 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Pietro Bocca (collab.: Enrico Ballatore, Andrea Nano)

Il corso si propone di fornire all'allievo gli strumenti per poter affrontare criticamente i problemi connessi al progetto e alla verifica delle strutture civili ed edili.

Si vuole dare una ampia visione del problema strutturale che comprenda sia l'analisi tipologica dei manufatti, in particolare le strutture murarie storiche e di nuova costruzione, sia le metodologie di stima e di calcolo. In questa ottica si cerca di armonizzare e confrontare, in sede di progetto e di verifica, i metodi storici empirici grafici con i più recenti sviluppi di calcolo numerico, integrati in alcuni casi con le indicazioni sulle procedure sperimentali più appropriate.

Sono argomenti fondamentali del corso i problemi tipologici strutturali, i problemi di valutazione e di calcolo tra cui l'applicazione del metodo degli elementi finiti, i problemi di diagnosi e controllo sperimentale.

REQUISITI. *Scienza delle costruzioni.*

PROGRAMMA

Richiami sullo stato di tensione, tensioni principali, cerchi di Mohr. Richiami di meccanica del continuo. Richiami di calcolo matriciale. Richiami di statica grafica, poligoni funicolari, curva delle pressioni.

Elementi strutturali resistenti per forma: l'arco. Studio dell'arco e sua evoluzione. Aspetti tipologici dell'arco.

La trave metallica e in cementi armato. Caratteri tipologici della trave reticolare e continua.

Le volte.

Elementi Finiti (EF): energia potenziale nei sistemi ad un grado di libertà. Principio di minimo dell'energia potenziale. Metodo di Ritz-Galerkin. Equivalenza con il principio

dei lavori virtuali. Condizioni al contorno di tipo cinematico, dinamica dei solidi elastici. Le funzioni di forma, elementi finiti rettangolari, triangolari, tridimensionali. Calcolo automatico dei telai e delle travi con gli elementi finiti. Elementi bidimensionali, calcolo delle lastre piane e curve con gli elementi finiti. Confronti con il metodo delle differenze finite.

Nozioni generali sull'utilizzo del calcolatore: sulla struttura di un elaboratore; sul sistema operativo MS-DOS; sulla struttura di un programma ad elementi finiti; illustrazione del funzionamento del programma COSMOS.

Rapporto struttura e progetto architettonico.

Tipologia e classificazione degli edifici in muratura. Tipologia degli elementi murari.

Metodologia di calcolo delle murature. Aspetti costruttivi e di calcolo delle murature. Aspetti di calcolo e di verifica delle murature ai sensi delle norme italiane e dell'Eurocodice 6.

Diagnosi degli edifici e delle strutture costituiti da materiali eterogenei, quali strutture in muratura e cemento armato. Metodi sperimentali di indagine. Metodi diagnostici non distruttivi.

ESERCITAZIONI

Sono previste le seguenti esercitazioni:

Studio di una piastra con gli elementi finiti. (Data di consegna dell'allievo e validazione: 15-20 maggio).

Studio di una cupola o di una volta con gli elementi finiti. (Consegna: ultima settimana del corso).

Calcolo e verifica di un edificio multipiano in muratura ai sensi delle norme vigenti. (Consegna: ultima settimana del corso)

Esercitazione sperimentale in Laboratorio Prove non distruttive. (Data da concordarsi).

BIBLIOGRAFIA

Durante il corso vengono distribuite le fotocopie dei temi svolti nelle lezioni e nelle esercitazioni. Per un ulteriore approfondimento degli argomenti trattati si consigliano i seguenti testi:

A. Carpinteri, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.

P. Bocca, A. Carpinteri, *Danneggiamento e diagnosi di materiali e strutture*, Pitagora, Bologna.

G. Pizzetti, A.M. Trisciunglio, *Principi statici e forme strutturali*, UTET, Torino.

G. Croci, *Intuizione e calcolo nella progettazione delle strutture*, Hoepli, Milano.

ESAME. L'esame comprende una prova orale sugli argomenti trattati nel corso. Per poter conseguire la massima votazione occorre dimostrare di aver approfondito e svolto anche i temi contenuti nelle esercitazioni.

P5880 Teoria e tecnica della circolazione

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

Docente: Mario Villa (collab.: Francesco Iannelli)

Il corso si propone di fornire le conoscenze teoriche e le tecniche applicative necessarie ad affrontare e risolvere i principali problemi relativi al traffico e alla circolazione delle persone e dei veicoli sia nella fase di formazione della domanda di spostamento che nella fase di movimento e sosta. Si affrontano altresì gli argomenti della modellizzazione dei fenomeni della mobilità urbana e delle tecniche, per il loro uso nella pianificazione della circolazione, delle indagini sulla domanda di spostamenti avendo come riferimento la redazione dei Piani Urbani del Traffico previsti dal Codice della strada e dalla sua normativa, con riferimento agli obiettivi che lo stesso codice delinea (fluidità, sicurezza, qualità dell'ambiente, riduzione dell'inquinamento). Infine vengono trattate le questioni della applicazione dei piani e delle procedure di valutazione di efficacia ed efficienza delle politiche adottate.

REQUISITI. Opportuna la frequenza di *Tecnica ed economia dei trasporti*.

PROGRAMMA

- [1. settimana]
1. *La pianificazione della mobilità e della circolazione.* Le relazioni fra il sistema economico e territoriale e la mobilità.
2. La generazione della domanda di mobilità espressa dal territorio. I fenomeni della crescita urbana e le variabili fondamentali. I sistemi urbani lavoro-residenze e servizi. La mobilità urbana.
3. La sequenza delle procedure di pianificazione: la definizione degli obiettivi, dei vincoli e degli scenari. Le variabili economiche, urbanistiche, tecnologiche e comportamentali.
- [2. sett.]
4. La generazione della mobilità: Le indagini O/D: a larga scala, alla scala urbana, alla scala microurbana, le indagini ISTAT.
- [3. sett.]
5. La modellistica di generazione degli spostamenti.
6. I fenomeni della interattività economica e della mobilità. I fenomeni gravitazionali. I fenomeni della integrazione delle funzioni in rete e la mobilità di rete.
7. La modellistica dei fenomeni interattivi: gravitazionale, etc. I fenomeni dissuasivi.
- [4. sett.]
8. La distribuzione degli spostamenti sul territorio e alla scala urbana: modelli di interazione spaziale a semplice doppio vincolo, le matrici di calibrazione, le matrici dei tempi. I modelli di Fratar. Il modello di equilibrio preferenziale.
9. Il sistema dell'offerta: l'offerta di infrastrutture e di servizi di trasporto.
10. La determinazione quantitativa e qualitativa della offerta.
- [5. sett.]
11. La teoria della capacità delle strade. Teoria del deflusso ininterrotto. Modelli deterministici, modello di Greenberg o General Motor, modelli lineari e modelli quadratici; tecniche di stima della capacità delle sezioni stradali. Il manuale HCM; le rilevazioni di flusso, le indagini di flusso, il trattamento dei dati e gli archivi; le tecniche e le tecnologie del rilevamento.
- [6. sett.]
12. *La regolazione delle intersezioni.* Le intersezioni e il flusso ininterrotto. La geometria delle intersezioni: a raso, a più livelli, a rotatoria, le rampe, le immissioni e le diversioni. *Software* applicativo.

- La regolazione delle intersezioni: la regolazione passiva e la regolazione attiva. Principi di regolazione: il *software* applicativo.
13. La teoria del flusso veicolare interrotto: gli itinerari regolati con sistemi semaforici, il *software* applicativo.
[7. sett.]
 14. Il comportamento dell'utente: la scelta dei percorsi e la scelta dei modi di trasporto. La scelta economica. I modelli di costo e di costo generalizzato, i modelli di opportunità.
 15. La scelta intramodale degli itinerari, e la scelta intermodale. La modellistica di assegnazione: modelli lineari, modelli deterministici, modelli probabilistici. Il modello LOGIT.
 16. Le tecniche previsionali. Le stime e la valutazione delle stime. La ricerca dei dati, la stima delle matrici.
[8. sett.]
 17. *La segnaletica stradale*: l'efficacia e la visibilità. Il posizionamento, il distanziamento, il dimensionamento, i caratteri, i colori.
 18. *La sicurezza e l'incidentalità*. L'analisi della sicurezza, la rilevazione degli incidenti, la statistica e la casistica incidentale, il verbale di incidente stradale. L'organizzazione del rilevamento e della archiviazione.
[9. sett.]
 19. *La questione ambientale*. La normativa. Le emissioni di inquinanti atmosferici e sonori. La modellistica di diffusione, la modellistica di simulazione. Le normative nazionali. La VIA per il traffico e la circolazione
[10. e 11. sett.]
 20. *La valutazione delle politiche sul traffico*
L'analisi C/B. La considerazione delle variabili economiche e territoriali.
L'analisi M/C. I sistemi multipreferenziali e le tecniche di valutazione.
[12. e 13. sett.]
 21. La legislazione e la normativa
Il Codice della strada e l'art. 36.
La circolare 2575/1984.
La legislazione ambientale e della fluidificazione.
La questione della sosta e la legge Tognoli per i Programmi Urbani dei Parcheggi.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni sono articolate in tre sezioni principali che fanno riferimento ad argomenti trattati nel corso e richiamano e sviluppano conoscenze e tecniche propedeutiche alla risoluzione dei problemi delle indagini sul traffico e della circolazione. In particolare:

[1.-4. settimana]

Elementi di statistica necessari per la ricerca, l'analisi, l'elaborazione e la validazione dei dati usualmente utilizzati nelle indagini sulla mobilità e sul traffico. Sono previste numerose applicazioni numeriche.

[4.-8. settimana]

Modellistica di pianificazione con introduzione all'uso di *software* applicativo e modellistica di valutazione delle decisioni e degli investimenti.

[9.-13. settimana]

Modellistica di regolazione delle intersezioni con sviluppo della intera sequenza operativa completa di rilevamento dati e di progettazione delle fasi di regolazione di intersezioni singole e coordinate mediante *software* applicativo.

LABORATORIO. Le esercitazioni prevedono fasi di ricerca dati sul campo e di elaborazione dei dati in laboratorio informatico.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Il materiale didattico, testi in fascicoli, copie di *slides* e varie, sarà distribuito nel corso delle lezioni e delle esercitazioni. Sono inoltre disponibili, in fotocopia:

M. Villa, *Tecnica del traffico e della circolazione*.

M. Villa, *Elementi di economia urbana*.

Testo ausiliario:

M. Olivari, *Elementi di teoria e tecnica della circolazione stradale*, Angeli.

ESAME

Le esercitazioni vengono concluse con la predisposizione di un lavoro di squadra che percorre gli argomenti principali del corso con l'utilizzazione di strumenti e tecniche di rilievo ed elaborazione al calcolatore anche a casa.

La valutazione viene effettuata sulla qualità della esercitazione e del lavoro svolto e presentato e sull'esame orale.

P6000 Termotecnica

Anno: periodo 5:2

Docente: Antonio Maria Barbero

Il corso si pone l'obiettivo di fornire una formazione mirata alla gestione corretta, in termini energetici, ambientali ed economici, degli impianti utilizzati per la fornitura di energia termica ad utenze civili ed industriali. La formazione è quindi rivolta soprattutto a chi debba acquisire e gestire detti impianti, pur fornendo informazioni di carattere tecnologico specialistico e cenni di progettazione. Gli impianti che vengono trattati nel corso sono: generatori di vapore, caldaie ad acqua surriscaldata*, forni, inceneritori. Il corso tende a fornire una visione critica e comparata del funzionamento di detti impianti, nell'ottica di chi debba fornire servizi di forniture energetiche in modo economico, sicuro e con il minor impatto ambientale possibile.

I principali temi trattati sono:

- interazione energia – ambiente;
- valutazioni economiche dell'uso degli impianti;
- descrizione della struttura e del funzionamento degli impianti;
- analisi energetica degli impianti;
- cenni di dimensionamento tecnico;
- modelli matematici per la previsione delle prestazioni energetiche.

Il corso, oltre alle lezioni in aula, prevede esercitazioni in laboratorio e visite esterne per fornire agli allievi, accanto alla formazione tecnica, una visione pratica delle problematiche impiantistiche.

P 6030 Trasmissione del calore

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 60+40+12 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Gian Vincenzo Fracastoro

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

Il corso fornisce elementi di approfondimento ed integrazione rispetto agli argomenti di trasmissione del calore svolti nel corso di *Fisica tecnica*.

REQUISITI. *Fisica tecnica*.

PROGRAMMA

Vengono riesaminati alcuni problemi elementari, indicando la metodologia di formulazione, con un breve richiamo alla soluzione di equazioni differenziali ordinarie. Vengono presentate le tecniche analitiche di soluzione (*separazione delle variabili, combinazione complessa, trasformate di Laplace*) di campi termici conduttivi monodimensionali nonstazionari e bidimensionali stazionari. Vengono illustrati i fondamenti del metodo numerico delle *differenze finite*, di cui si forniscono diverse metodologie di soluzione (Eulero, Crank-Nicolson, Laasonen) e del metodo degli *elementi finiti* (minimizzazione di funzioni, calcolo variazionale e approssimazione di integrali).

Vengono poi introdotte le equazioni relative alla convezione forzata in regime laminare per alcune geometrie (lastra piana, condotti cilindrici, etc.) secondo la teoria dello strato limite (soluzioni di Blasius e Polhausen). Per le stesse geometrie si analizzano le soluzioni per regime di moto turbolento. Si riportano anche le correlazioni ricavate per diverse configurazioni in convezione naturale e forzata.

Si analizzano alcuni problemi particolari di irraggiamento termico, quali i metodi per ricavare il flusso termico scambiato fra superfici grigie con mezzo assorbente e trasparente e in cavità.

Vengono infine esaminati gli scambiatori di calore compatti, fornendo indicazioni sul calcolo della trasmittanza globale per alcune applicazioni tipiche. Si forniscono cenni su tecnologie innovative per lo scambio termico (tubi di calore).

Una breve descrizione delle principali tecniche sperimentali per la misura delle principali grandezze termiche (temperature e flussi termici) completa il corso.

ESERCITAZIONI

La parte applicativa viene svolta con l'ausilio di supporti informatici e quella sperimentale presso i laboratori didattici del Dipartimento di Energetica.

Esercitazioni numeriche su transistori termici in parete piana, campo termico bidimensionale stazionario con generazione interna, ed esercitazioni di laboratorio sulla misura di conduttività con lastra piana, misure termiche e di portata in scambiatori di calore.

BIBLIOGRAFIA

C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo, *Trasmissione del calore*, CLEUP, Padova, 1987.

G. Guglielmini, C. Pisoni, *Elementi di trasmissione del calore*, Veschi, Milano, 1990.

R. Mastrullo [et al.], *Fondamenti di trasmissione del calore*, Liguori, Napoli.

O. Manca, V. Naso, *Complementi di trasmissione del calore*. EDISU, Napoli, 1991.

O. Manca, V. Naso, *Applicazioni di trasmissione del calore*, EDISU, Napoli, 1989.

Tavola alfabetica dei docenti

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

Prof. **Ignazio Amato** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 62 P4630 : *Scienza e tecnologia dei materiali ceramici* [5:1]

67 P5574 : *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*

TEL 564'4667. FAX 564'4699. Orario di ricevimento: lunedì 8:30-10:30.

Prof. **Paolo Anglesio** (*Energetica*)

p. 27 P2060 : *Fisica tecnica* [3:2]

TEL 564'4410. Orario di ricevimento: venerdì 10:30-12:30.

Prof. **Enrico Antonelli** (*Energetica*)

p. 31 P3112 : *Macchine 2* [4:2]

Gli orari di ricevimento, per chiarimenti sulle lezioni e per la correzione delle esercitazioni di calcolo, vengono fissati di anno in anno e affissi nella bacheca del Dipartimento di Energetica. Non è obbligatorio (anche se caldamente consigliato) sottoporre durante l'anno le esercitazioni al docente esercitatore, affinché le corregga e le visti prima dell'esame.

Prof. **Antonio Barbero** (*Energetica*)

p. 53 P3710 : *Misure termiche e regolazioni* [4:1]

Prof. **Antonio Maria Barbero** (*Energetica*)

p. 78 P6000 : *Termotecnica* [5:2]

Prof. **Giovanni Bauducco** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

p. 32 P2730 : *Impianti meccanici* [5:1]

TEL 564'5620. Orario di ricevimento: mercoledì 9-12:30.

Prof. **Guido Belforte** (*Ing. meccanica*)

p. 38 P0350 : *Automazione a fluido* [4:1]

27 P3210 : *Meccanica applicata alle macchine* [3:2]

TEL 564'6926. Orario di ricevimento: mercoledì 10:30-12:30, salvo impegni.

Prof. **Gustavo Belforte** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 26 P0845 : *Controlli automatici + Elettronica applicata* [2:2]

TEL 564'7018, in alternativa contattare il docente all'inizio o alla fine delle lezioni. Orario di ricevimento: affisso all'ingresso del Dipartimento e/o presso l'ufficio del docente.

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

Prof. **Cristina Bignardi** (Ing. meccanica)

p. 38 P0450 : *Biomeccanica* [4:2]

TEL 564'6944, EM bignardi@polito.it. Orario di ricevimento: esposto nella bacheca del Dipartimento.

Prof. **Pietro Bocca** (Ing. strutturale)

p. 73 P5840 : *Teoria delle strutture* [4:2]

Prof. **Aldo Boglietti** (Ing. elettrica industriale)

p. 26 P1795 : *Elettrotecnica + Macchine elettriche* [2:2]

TEL 564'7128. Orario di ricevimento: lunedì 9-12.

Prof. **Basilio Bona** (Ing. automatica e informatica)

p. 57 L4580 : *Robotica industriale* [x:1]

(B. Bona) TEL 564'7023, EM bona@polito.it. (M. Indri) TEL 564'7051. Orario di ricevimento: due ore alla settimana, in orario che verrà definito a lezione, oppure su appuntamento telefonico.

Prof. **Guido Bongiovanni** (Ing. meccanica)

p. 28 P0940 : *Costruzione di macchine* [4:2]

TEL 564'6933. Orario di ricevimento: mercoledì 15:30-17:30. (Collaboratori: Il recapito telefonico e l'orario di ricevimento saranno indicati, all'inizio di ogni periodo didattico, nella bacheca presso l'ingresso del Dipartimento).

Prof. **Ida Bonzani** (Matematica)

p. 26 P3370 : *Meccanica razionale* [2:2]

TEL 564'7530, FAX 564'7599, EM bonzani@polito.it. Orario di ricevimento: consultare la bacheca del Dipartimento.

Prof. **Paolo Brandimarte** (Sistemi di produzione ed economia dell'azienda)

p. 56 P4350 : *Programmazione e controllo della produzione meccanica* [5:2]

Prof. **Anthos Bray** (Sistemi di produzione ed economia dell'azienda)

p. 52 P3540 : *Metrologia generale meccanica* [4:1]

Prof. **Aurelio Burdese** (Scienza dei materiali e ing. chimica)

p. 62 P4780 : *Siderurgia* [4:1]

Orario di ricevimento: giovedì 10:30-12:30. (M. Rosso: Orario di ricevimento: martedì 10:30-12:30).

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

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

p. 53 B3830 : *Motori per aeromobili* [x: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. **Luigi Butera** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

p. 39 P1070 : *Costruzioni idrauliche* [4:1]

26 P3230 : *Meccanica dei fluidi* [3:1]

TEL 564'5654. Orario di ricevimento: mercoledì 11-12:30.

Prof. **Pasquale Calderale** (*Ing. meccanica*)

p. 39 P1040 : *Costruzioni biomeccaniche* [5:2]

56 P4160 : *Progettazione dei sistemi meccanici in campo dinamico* [5:1]

TEL 564'6919, EM calderale@polito.it. Orario di ricevimento: esposto nella bacheca del Dipartimento.

(A.L. Audenino: TEL 564'6951, EM audenino@polito.it).

Prof. **Michele Cali Quaglia** (*Energetica*)

p. 43 P1810 : *Energetica* [4:2]

TEL 564'4424, FAX 564'4499, EM cali@polito.it.

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

p. 20 P0231 : *Analisi matematica I* [1:1]

39 P0510 : *Calcolo numerico* [4:2]

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

Prof. **Alberto Carpinteri** (*Ing. strutturale*)

p. 26 P4600 : *Scienza delle costruzioni* [3:1]

Prof. **Vito Carrescia** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 63 P5450 : *Tecnica della sicurezza elettrica* [5:1]

Prof. **Andrea Emilio Catania** (*Energetica*)

p. 28 P3110 : *Macchine* [4:1]

27 P3111 : *Macchine I* [4:1]

Orario di ricevimento: mercoledì 14:30-16:30. (E. Spessa: Orario di ricevimento: martedì 9:30-11:30).

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

Prof. **Alberto Chiaraviglio** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

- p. 32 P2730 : *Impianti meccanici* [5:1]
 56 P4150 : *Progettazione degli impianti industriali* [5:2]

TEL 564'5609. Orario di ricevimento: lunedì 9-12 e nelle ore antecedenti e/o seguenti le lezioni.

Prof. **Adelmo Crotti** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

- p. 66 P5490 : *Tecnica ed economia dei trasporti* [4:1]

TEL 564'5602. Orario di ricevimento: mercoledì 9-12.
 (C. Pronello, B. Scuero: TEL 564'5613).

Prof. **Graziano Curti** (*Ing. meccanica*)

- p. 28 P0940 : *Costruzione di macchine* [4:2]
 66 P5470 : *Tecnica delle costruzioni meccaniche* [5:2]

Orario di ricevimento: (non meno di due ore settimanali) sarà precisato nella bacheca del Dipartimento all'inizio del periodo didattico.

Prof. **Riccardo D'Auria** (*Fisica*)

- p. 20 P1901 : *Fisica I* [1:2]

Prof. **Bruno De Benedetti** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

- p. 41 P1700 : *Elettrometallurgia* [5:2]
 52 P3430 : *Metallurgia fisica* [4:2]

Orario di ricevimento: giovedì 10:30-12:30. (G. Maizza: Orario di ricevimento: martedì 10:30-12:30).

Prof. **Augusto De Filippi** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

- p. 72 P5720 : *Tecnologie speciali* [5:2]

Orario di ricevimento: a meno di cambiamenti dettati da esigenze didattiche, è previsto la mattina del venerdì.

Prof. **Nicola Dellepiane** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

- p. 36 P1530 : *Economia ed organizzazione aziendale* [5:2]

TEL 564'7228. Orario di ricevimento: indicato nella bacheca del Dipartimento.

Prof. **Pier Paolo Delsanto** (*Fisica*)

- p. 43 P2050 : *Fisica superiore*

Prof. **Carlo Vincenzo Ferraro** (*Energetica*)

- p. 36 P3840 : *Motori termici per trazione* [5:1]

Gli orari di ricevimento, per chiarimenti sulle lezioni e per la correzione delle esercitazioni di calcolo, vengono fissati di anno in anno e affissi nella bacheca del Dipartimento di Energetica. Ove possibile è prevista la presenza di uno studente coadiutore per circa 2-4 ore settimanali. Non è obbligatorio (anche se caldamente consigliato) sottoporre durante l'anno le esercitazioni ai docenti, affinché le correggano e le vistino, prima di sostenere l'esame.

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

Prof. **Vincenzo Ferro** (*Energetica*)

p. 48 P2820 : *Impianti termotecnici* [5:2]

TEL 564'4417. Orario di ricevimento: da verificare presso la Segreteria didattica del Dipartimento. (M. Masoero: TEL 564'4441).

Prof. **Donato Firrao** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 48 P3265 : *Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica* [4:1]

27 P5584 : *Tecnologia dei materiali metallici* [3:2]

TEL 564'4675. Orario di ricevimento: tutti i pomeriggi.

Prof. **Gian Vincenzo Fracastoro** (*Energetica*)

p. 63 P5410 : *Tecnica del controllo ambientale* [5:1]

78 P6030 : *Trasmissione del calore* [4:1]

Prof. **Fausto Galetto** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

p. 44 P2460 : *Gestione industriale della qualità* [5:1]

TEL 564'7282. Orario di ricevimento: in funzione dell'orario di lezione. Comunicazioni ed avvisi: esposti nella bacheca del Dipartimento.

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

p. 48 P3290 : *Meccanica del veicolo* [4:2]

31 P4020 : *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. **Carlo Gianoglio** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 67 P5574 : *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*

TEL 564'4669. Orario di ricevimento: eventuali chiarimenti potranno essere forniti presso la sede di Vercelli per la durata di un'ora successivamente a ciascuna lezione.

Prof. **Dina Giublesi** (*Matematica*)

p. 20 P0231 : *Analisi matematica I* [1:1]

Prof. **Francesco Iannelli** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

p. 53 P3910 : *Pianificazione dei trasporti* [5:2]

TEL 564'5613. Orario di ricevimento: mercoledì 10-12 oppure su appuntamento telefonico.

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

p. 20 P0620 : *Chimica* [1:1]

Orario di ricevimento: mercoledì 14-16.

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

Prof. **Rosolino Ippolito** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

p. 27 P5640: *Tecnologia meccanica* [4:1]

Il docente può essere contattato negli orari che vengono di anno in anno affissi all'albo del Dipartimento.

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

p. 38 P0290: *Applicazioni industriali elettriche* [4:2]

TEL 564'7119. Orario di ricevimento: martedì 10:30-12:30.

Prof. **Paolo Lepora** (*Matematica*)

p. 26 P2170: *Fondamenti di informatica* [2:1]

Le informazioni relative ai numeri di telefono del docente ed al suo orario di ricevimento, sono affisse nelle bacheche del Dipartimento.

Prof. **Raffaello Levi** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

p. 27 P1405: *Disegno di macchine + Tecnologia meccanica* [3:2]

Orario di ricevimento: martedì 15:30-17:30. Avvisi agli studenti, distribuzione documentazione e prenotazione prove presso segreteria didattica.

Prof. **Eugenia Longo** (*Matematica*)

p. 26 P3370: *Meccanica razionale* [2:2]

TEL 564'7532, FAX 564'7599, EM longo@polito.it. Orario di ricevimento: consultare la bacheca del Dipartimento.

Prof. **Dante Marocchi** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

p. 56 P4180: *Progettazione di sistemi di trasporto* [5:1]

TEL 564'5609. Orario di ricevimento: lunedì 9:30-11:30, al pomeriggio dopo le esercitazioni in programma. (Collaboratori: TEL 564'5611, 5613).

Prof. **Mario R. Marzano** (*Energetica*)

p. 31 P5130: *Sperimentazione sulle macchine* [4:2]

Orario di ricevimento: reso noto di volta in volta dalla Segreteria didattica del Dipartimento, con validità semestrale.

Prof. **Maria Mascarello** (*Matematica*)

p. 20 P0232: *Analisi matematica 2* [2:1]

Frequentare le lezioni e le esercitazioni. Orario di ricevimento: affisso presso la Segreteria didattica del Dipartimento.

Prof. **Carla Massaza** (*Matematica*)

p. 20 P2300: *Geometria* [1:2]

TEL 564'7524, FAX 564'7599. Orario di ricevimento: un'ora settimanale, secondo l'orario esposto in bacheca.

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

Prof. **Augusto Mazza** (*Energetica*)

p. 44 P2560 : *Illuminotecnica* [4:2]

Prof. **Enrica Mezzetti Minetti** (*Fisica*)

p. 21 P1902 : *Fisica 2* [2:1]

TEL 564'7314. (G. Castagno: TEL 564'7346).

Prof. **Antonio Mittica** (*Energetica*)

p. 28 P3110 : *Macchine* [4:1]

Orario di ricevimento: martedì 8:30-10:30. (C. Dongiovanni: Orario di ricevimento: martedì 9:30-11:30).

Prof. **Armando Monte** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

p. 32 P2730 : *Impianti meccanici* [5:1]

TEL 564'7226. Orario di ricevimento: reperibilità garantita durante l'intera giornata dal lunedì al venerdì, in mattinata il sabato.

Prof. **Alberto Morelli** (*Energetica*)

p. 39 P0920 : *Costruzione di autoveicoli* [4:1]

56 P4270 : *Progetto delle carrozzerie* [5:2]

TEL 564'4420. Orario di ricevimento: affisso in bacheca all'ingresso del Dipartimento e su appuntamento.

Prof. **Vittorio Nascè** (*Ing. strutturale*)

p. 40 P1080 : *Costruzioni in acciaio* [4:1]

Prof. **Nicola Nervegna** (*Energetica*)

p. 31 P3850 : *Oleodinamica e pneumatica* [4:2]

TEL 564'4432, 4502, 4471. Orario di ricevimento: sempre disponibile previo contatto telefonico o personale durante le ore di didattica.

Prof. **Silvio Nocilla** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 51 P3400 : *Meccanica superiore per ingegneri* [4:1]

Prof. **Stefano Olla** (*Matematica*)

p. 52 P3500 : *Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici* [4,5:2]

Orario di ricevimento: come risulta da bacheca presso il Dipartimento.

Prof. **Giovanni Perotti** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

p. 53 P3950 : *Plasticità e lavorazione per deformazione plastica* [4:2]

Orario di ricevimento: ogniqualvolta richiesto, previo accordo. Avvisi: presso la Segreteria didattica del Dipartimento.

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

Prof. **Gaetano Pessina** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 38 H0400 : *Azionamenti per la trazione elettrica* [x:1]

Dopo ogni lezione, per i due periodi didattici, il docente è disponibile per un'ora al ricevimento studenti. Per contatti su appuntamento rivolgersi alla segreteria del Dipartimento.

Prof. **Norberto Piccinini** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 63 P5440 : *Tecnica della sicurezza ambientale* [5:2]

N. Piccinini: TEL 564'4645. Orario di ricevimento: martedì 16:30-18:30.

I. Mazzarino: TEL 564'4555. Orario di ricevimento: giovedì 16:30-18:30.

G. Sassi: TEL 564'4625. Orario di ricevimento: martedì 15:30-17:30. .

Prof. **Federico Piglione** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 62 P4980 : *Sistemi elettrici per l'energia* [5:2]

TEL 564'7133.

Prof. **Bruno Piombo** (*Ing. meccanica*)

p. 49 P3360 : *Meccanica delle vibrazioni* [5:1]

Prof. **Giovanni Podda** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

p. 20 P1430 : *Disegno tecnico industriale* [1:2]

TEL 564'7239. Orario di ricevimento: lunedì e martedì 16:30-18:30.

Prof. **Francesco Profumo** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 38 P0380 : *Azionamenti elettrici*

TEL 564'7127, FAX 564'7199. Orario di ricevimento: martedì 12:30-13:30.

Prof. **Antonino Repaci** (*Matematica*)

p. 26 P3370 : *Meccanica razionale* [2:2]

TEL 564'7531, FAX 564'7599, EM repaci@polito.it. Orario di ricevimento: consultare la bacheca del Dipartimento.

Prof. **Maurizio Repetto** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 26 P1795 : *Elettrotecnica + Macchine elettriche* [2:2]

TEL 564'7142, EM repetto@polito.it. Orario di ricevimento: martedì 16:30-18:30.

Prof. **Giovanni Roccati** (*Ing. meccanica*)

p. 39 P0980 : *Costruzione di materiale ferroviario* [5:2]

TEL 564'6932. Orario di ricevimento: si prevede di due ore per settimana, sarà comunque indicato all'inizio di ogni periodo didattico mediante avvisi esposti nella bacheca sita presso l'ingresso del Dipartimento.

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

Prof. **Ario Romiti** (*Ing. meccanica*)

p. 48 P3280 : *Meccanica dei robot* [5:1]

TEL 564'6927, 6905. (A. Manuello Bertetto: TEL 564'6931).

Prof. **Massimo Rossetto** (*Ing. meccanica*)

p. 48 P3265 : *Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica* [4:1]

62 P5110 : *Sperimentazione ed affidabilità dell'autoveicolo* [5:2]

Orario di ricevimento: due ore settimanali da definirsi all'inizio di ogni periodo didattico.

Prof. **Mario Rosso** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 45 P2740 : *Impianti metallurgici* [4:2]

72 P5710 : *Tecnologie metallurgiche* [5:2]

TEL 564'4664. Orario di ricevimento: venerdì 8:30-10:30, o su appuntamento.

Prof. **Alfredo Sacchi** (*Energetica*)

p. 37 P0030 : *Acustica applicata* [5:2]

Prof. **Giorgio Scavino** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 27 P5584 : *Tecnologia dei materiali metallici* [3:2]

TEL 564'4675. Orario di ricevimento: tutti i pomeriggi.

Prof. **Sebastiano Sordo** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

p. 26 P3230 : *Meccanica dei fluidi* [3:1]

TEL 564'5655. Orario di ricevimento: lunedì 10:30-12:30.

Prof. **Massimo Sorli** (*Ing. meccanica*)

p. 52 P3410 : *Meccatronica* [4:2]

TEL 564'6948. Orario di ricevimento: lunedì 10:30-12:30.

Prof. **Franconio Testore** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 70 P5700 : *Tecnologie industriali (tessili)* [5:2]

Prof. **Daniela Tordella** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 43 P2080 : *Fluidodinamica* [4:2]

TEL 564'6812, EM tordella@polito.it.

Prof. **Laura Trossi** (*Fisica*)

p. 21 P1902 : *Fisica 2* [2:1]

Orario di ricevimento: mercoledì 10:30-12:30.

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

Prof. **Armando Tuberga** (*Energetica*)

p. 40 P1165: *Criogenia + Tecnica del freddo* [5:1]

TEL 564'4435. Orario di ricevimento: due ore settimanali.

Prof. **Alfredo Vagati** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 38 P0390: *Azionamenti elettrici per l'automazione* [5:2]

Prof. **Paolo Valabrega** (*Matematica*)

p. 20 P2300: *Geometria* [1:2]

TEL 564'7520, FAX 564'7599. Orario di ricevimento: un'ora settimanale, secondo l'orario esposto in bacheca.

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

p. 20 P0620: *Chimica* [1:1]

Orario di ricevimento: mercoledì 14:30-16:30.

Prof. **Agostino Villa** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

p. 63 P5390: *Studi di fabbricazione* [5:2]

TEL 564'7233. Orario di ricevimento: pubblicato in bacheca CCL Ing. Gestionale all'inizio di ogni periodo didattico.

Prof. **Maurizio Zamboni** (*Ing. elettronica*)

p. 43 P1710: *Elettronica applicata* [4:1]

TEL 564'4079, EM zamboni@polito.it. Orario di ricevimento: tutti i giorni.

Prof. **Luca Zanetti** (*Ing. aeronautica e spaziale*)

p. 43 P2120: *Fluidodinamica delle turbomacchine* [5:2]

TEL 564'6822, 6824, 6805, EM zanetti@polito.it. Orario di ricevimento: lunedì e venerdì 9:30-12:30, 14:30-18:30.

Prof. **M. Grazia Zavattaro** (*Matematica*)

p. 26 P3370: *Meccanica razionale* [2:2]

TEL 564'7529, FAX 564'7599, EM zavattaro@polito.it. Orario di ricevimento: consultare la bacheca del Dipartimento.

Prof. **Antonio Zoppi** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

p. 27 P1405: *Disegno di macchine + Tecnologia meccanica* [3:2]

Orario di ricevimento: venerdì 14:30-16:30. Avvisi agli studenti, distribuzione documentazione e prenotazione prove presso segreteria didattica.

Tavola alfabetica degli insegnamenti

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
87	P 003 0	Acustica applicata [5:2] Prof. Alfredo Sacchi
21	P 023 1	Analisi matematica 1 [1:1] Prof. Claudio Canuto, Dina Giublesi
31	P 023 2	Analisi matematica 2 [2:1] Prof. Maria Mascarello
88	P 029 0	Applicazioni industriali elettriche [4:2] Prof. Mario Lazzari
89	P 035 0	Automazione a fluido [4:1] Prof. Guido Belforte
91	P 038 0	Azionamenti elettrici Prof. Francesco Profumo
92	P 039 0	Azionamenti elettrici per l'automazione [5:2] Prof. Alfredo Vagati
94	H 040 0	Azionamenti per la trazione elettrica [x:1] Prof. Gaetano Pessina
95	P 045 0	Biomeccanica [4:2] Prof. Cristina Bignardi
23	P 062 0	Chimica [1:1] Prof. Antonio Iannibello, Mario Vallino
48	P 084 5	Controlli automatici + Elettronica applicata (integrato) [3:1] Prof. Gustavo Belforte
96	P 092 0	Costruzione di autoveicoli [4:1] Prof. Alberto Morelli
64	P 094 0	Costruzione di macchine [4:2] Prof. Graziano Curti
97	P 098 0	Costruzione di materiale ferroviario [5:2] Prof. Giovanni Roccati
98	P 104 0	Costruzioni biomeccaniche [5:2] Prof. Pasquale Calderale
99	P 107 0	Costruzioni idrauliche [4:1] Prof. Luigi Butera
100	P 108 0	Costruzioni in acciaio [4:1] Prof. Vittorio Nascè
101	P 116 5	Criogenia + Tecnica del freddo (integrato) [5:1] Prof. Armando Tuberga
52	P 140 5	Disegno di macchine + Tecnologia meccanica (integrato) [3:2] Prof. Raffaello Levi, Antonio Zompi
29	P 143 0	Disegno tecnico industriale [1:2] Prof. Giovanni Podda

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
84	P 153 0	Economia ed organizzazione aziendale [5:2] Prof. Nicola Dellepiane
102	P 170 0	Elettrometallurgia [5:2] Prof. Bruno De Benedetti
103	P 171 0	Elettronica applicata [4:1] Prof. Maurizio Zamboni
43	P 179 5	Elettrotecnica + Macchine elettriche (integrato) [2:2] Prof. Aldo Boglietti, Maurizio Repetto
105	P 181 0	Energetica [4:2] Prof. Michele Cali Quaglia
(106)	P 187 0	Esercizio dei sistemi di trasporto [5:1]
27	P 190 1	Fisica 1 [1:2] Prof. Riccardo D'Auria
33	P 190 2	Fisica 2 [2:1] Prof. Enrica Mezzetti Minetti
35	P 190 0	Fisica 2 [2:1] Prof. Laura Trossi
107	P 205 0	Fisica superiore Prof. Pier Paolo Delsanto
51	P 206 0	Fisica tecnica [3:2] Prof. Paolo Anglesio
108	P 208 0	Fluidodinamica [4:2] Prof. Daniela Tordella
109	P 212 0	Fluidodinamica delle turbomacchine [5:2] Prof. Luca Zanetti
37	P 217 0	Fondamenti di informatica [2:1] Prof. Paolo Lepora
25	P 230 0	Geometria [1:2] Prof. Carla Massaza, Paolo Valabrega
111	P 246 0	Gestione industriale della qualità [5:1] Prof. Fausto Galetto
113	P 256 0	Illuminotecnica [4:2] Prof. Augusto Mazza
77	P 273 0	Impianti meccanici [5:1] Prof. Giovanni Bauducco
79	P 273 3	Impianti meccanici [5:1] Prof. Armando Monte
113	P 274 0	Impianti metallurgici [4:2] Prof. Mario Rosso
115	P 282 0	Impianti termotecnici [5:2] Prof. Vincenzo Ferro
117	P 310 0	Logistica industriale [5:1] Prof. Armando Monte

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
61	P 311 0	Macchine [4:1] Prof. Andrea Emilio Catania
58	P 311 1	Macchine 1 [4:1] Prof. Andrea Emilio Catania
65	P 311 2	Macchine 2 [4:2] Prof. Enrico Antonelli
50	P 321 0	Meccanica applicata alle macchine [3:2] Prof. Guido Belforte
46	P 323 0	Meccanica dei fluidi [3:1] Prof. Luigi Butera, Sebastiano Sordo
118	P 326 5	Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato) [4:1] Prof. Donato Firrao, Massimo Rossetto
120	P 328 0	Meccanica dei robot [5:1] Prof. Ario Romiti
121	P 329 0	Meccanica del veicolo [4:2] Prof. Giancarlo Genta
123	P 336 0	Meccanica delle vibrazioni [5:1] Prof. Bruno Piombo
41	P 337 0	Meccanica razionale [2:2] Prof. Eugenia Longo, M. Grazia Zavattaro
124	P 340 0	Meccanica superiore per ingegneri [4:1] Prof. Luigi Preziosi
125	P 341 0	Meccatronica [4:2] Prof. Massimo Sorli
126	P 343 0	Metallurgia fisica [4:2] Prof. Bruno De Benedetti
128	P 350 0	Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici [4,5:2] Prof. Stefano Olla
129	P 354 0	Metrologia generale meccanica [4:1] Prof. Anthos Bray
131	P 371 0	Misure termiche e regolazioni [4:1] Prof. Antonio Barbero
132	B 383 0	Motori per aeromobili [x:1] Prof. Giuseppe Bussi
80	P 384 0	Motori termici per trazione [5:1] Prof. Carlo Vincenzo Ferraro
70	P 385 0	Oleodinamica e pneumatica [4:2] Prof. Nicola Nervegna
133	P 391 0	Pianificazione dei trasporti [5:2] Prof. Francesco Iannelli
135	P 395 0	Plasticità e lavorazione per deformazione plastica [4:2] Prof. Giovanni Perotti
75	P 402 0	Principi e metodologie della progettazione meccanica [5:1] Prof. Giancarlo Genta

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
136	P 409 0	Produzione assistita da calcolatore [5:1] Prof. Giovanni Podda
138	P 415 0	Progettazione degli impianti industriali [5:2] Prof. Alberto Chiaraviglio
139	P 416 0	Progettazione dei sistemi meccanici in campo dinamico [5:1] Prof. Pasquale Calderale
141	P 418 0	Progettazione di sistemi di trasporto [5:1] Prof. Dante Marocchi
142	P 427 0	Progetto delle carrozzerie [5:2] Prof. Alberto Morelli
144	P 435 0	Programmazione e controllo della produzione meccanica [5:2] Prof. Paolo Brandimarte
44	P 460 0	Scienza delle costruzioni [3:1] Prof. Alberto Carpinteri
145	P 460 2	Scienza delle costruzioni 2 [4:1] Prof. Paolo Vallini
147	P 463 0	Scienza e tecnologia dei materiali ceramici [5:1] Prof. Ignazio Amato
148	P 478 0	Siderurgia [4:1] Prof. Aurelio Burdese
150	P 498 0	Sistemi elettrici per l'energia [5:2] Prof. Federico Piglione
153	P 511 0	Sperimentazione ed affidabilità dell'autoveicolo [5:2] Prof. Massimo Rossetto
73	P 513 0	Sperimentazione sulle macchine [4:2] Prof. Mario R. Marzano
154	P 539 0	Studi di fabbricazione [5:2] Prof. Agostino Villa
156	P 541 0	Tecnica del controllo ambientale [5:1] Prof. Gian Vincenzo Fracastoro
157	P 544 0	Tecnica della sicurezza ambientale [5:2] Prof. Norberto Piccinini
159	P 545 0	Tecnica della sicurezza elettrica [5:1] Prof. Vito Carrescia
161	P 547 0	Tecnica delle costruzioni meccaniche [5:2] Prof. Graziano Curti
162	P 549 0	Tecnica ed economia dei trasporti [4:1] Prof. Adelmo Crotti
163	P 557 4	Tecnologia dei materiali e chimica applicata (ridotto) Prof. Ignazio Amato, Carlo Gianoglio
(164)	P 557 5	Tecnologia dei materiali e chimica applicata + Tecnologia dei materiali metallici [5:2]

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
55	P 558 4	Tecnologia dei materiali metallici (ridotto) [3:2] Prof. Donato Firrao, Giorgio Scavino
57	P 564 0	Tecnologia meccanica [4:1] Prof. Rosolino Ippolito
165	P 570 0	Tecnologie industriali (tessili) [5:2] Prof. Francantonio Testore
166	P 571 0	Tecnologie metallurgiche [5:2] Prof. Mario Rosso
168	P 572 0	Tecnologie speciali [5:2] Prof. Augusto De Filippi
169	P 584 0	Teoria delle strutture [4:2] Prof. Pietro Bocca
171	P 588 0	Teoria e tecnica della circolazione [5:2] Prof. Mario Villa
173	P 600 0	Termotecnica [5:2] Prof. Antonio Maria Barbero
174	P 603 0	Trasmissione del calore [4:1] Prof. Gian Vincenzo Fracastoro