

# **CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA FISICA TECNICA E MACCHINE TERMICHE A.A. 2005/2006**

## **1 - INFORMAZIONI UTILI**

**DOCENTE:** Paolo Di Marco

**Orario di ricevimento:** Venerdì ore 9-13. (da modificarsi sulla base dell'orario definitivo per evitare interferenze con le lezioni). Disponibile comunque anche negli altri giorni. E' possibile richiedere appuntamenti telefonici o (nei limiti del possibile) ricevere chiarimenti per telefono od e-mail.

**Luogo di ricevimento:** Dipartimento di Energetica - Settore Fisica Tecnica - Edificio del triennio (polo A) - (*entrata principale, piano terreno, sulla destra*).

**RECAPITI Telefono:** 050 2217107 (uff.), 050 25259 (abitaz.),

**FAX:** 050 2217150

**E-mail:** p.dimarco@ing.unipi.it,

**WWW:** <http://docenti.ing.unipi.it/~d6600/>

La pagina web (accessibile anche dalla homepage della Facoltà di Ingegneria) contiene comunicazioni e materiale didattico che è possibile scaricare.

## **2 - OBIETTIVI DELL'INSEGNAMENTO**

Il corso si propone di far acquisire all'allievo una conoscenza operativa della termodinamica tecnica e dei meccanismi di base della trasmissione del calore, in modo da metterlo in grado di:

- comprendere il funzionamento dei dispositivi di conversione dell'energia (in particolare, le macchine a fluido motrici ed operatrici);
- apprendere le tecniche di uso razionale e risparmio dell'energia primaria,
- risolvere problemi applicativi in tale ambito.

## **3 - COMPETENZE ED ABILITA' PRESUPPOSTE**

Fondamenti di Analisi Matematica: derivate totali e parziali, integrali, semplici equazioni differenziali.

Fondamenti di Fisica I (meccanica): concetti di forza, lavoro, potenza; conservazione dell'energia meccanica; fondamenti di idrostatica (pressione, galleggiamento).

L'abilità nell'uso elementare di un personal computer, sebbene non espressamente necessaria, è fortemente consigliata.

## **4 - COMPETENZE ACQUISITE AL TERMINE DEL CORSO**

- Conoscere i principi fondamentali della termodinamica e le loro implicazioni tecniche.
- Saper ricavare le proprietà termodinamiche dei fluidi ed utilizzare i diagrammi di stato.
- Conoscere e sapere applicare correttamente i bilanci di massa, energia, entropia ed exergia ai sistemi tecnici aperti ed alle macchine termiche cicliche.
- Saper descrivere e rappresentare graficamente i principali sistemi energetici, macchine a fluido e apparecchiature per la conversione dell'energia.
- Saper calcolare le prestazioni dei sistemi energetici, nonché dei loro singoli componenti.
- Saper classificare le fonti di energia ed i sistemi di conversione. Saper calcolare la massima energia meccanica ottenibile da ciascuna forma di energia disponibile.
- Conoscere i meccanismi di trasmissione del calore ed i relativi dispositivi e saper risolvere semplici problemi di verifica e dimensionamento in tale ambito.

## **5 - TEMPI, MODALITA' ED ULTERIORI ATTIVITA'**

Il corso si svolge in una annualità; dato il carattere applicativo, le esercitazioni sono strettamente integrate nella teoria in modo che ogni nuovo argomento teorico trovi immediata applicazione pratica.

Lo studente dovrà redigere personalmente un certo numero di tavole, concernenti lo studio numerico e grafico di trasformazioni o cicli termodinamici, che verranno discusse in sede di esame.

Sono previste esercitazioni a carattere informatico, tese a facilitare la compilazione delle tavole e a risolvere problemi applicativi mediante l'uso di software commerciale (es. EXCEL®).

Per quanto materialmente possibile, si cercherà di integrare l'attività in aula con esercitazioni e dimostrazioni di laboratorio, lezioni e visite tecniche fuori sede e seminari di esterni.

## 6 – MATERIALE DIDATTICO - TESTI UTILI

Le dispense del corso coprono la maggior parte del programma svolto. La rimanente parte è contenuta nel testo di Della Volpe (vedi sotto). Le dispense sono disponibili su carta, CD-ROM o scaricabili direttamente dalla rete (homepage del docente). Esse includono anche una raccolta di esercizi, molti dei quali risolti.

Nel seguito sono elencati ulteriori testi, utili per approfondimenti. E' consigliabile provare a leggere almeno un capitolo su un testo in inglese per acquisire la relativa terminologia tecnica.

*In italiano – per la parte termodinamica*

- Y.A. Cengel, Termodinamica e Trasmissione del Calore, McGraw-Hill, 1998.
- R. Mastrullo, P. Mazzei, R. Vanoli, Termodinamica per Ingegneri – Applicazioni, Liguori, Napoli, 1996.
- A. Cavallini e L. Mattarolo, Termodinamica Applicata, CLEUP, Padova, 1992.

*In italiano – per la parte macchine termiche e impianti*

- R. Della Volpe, Macchine, Liguori, Napoli, 1994.
- P. Anglesio, Elementi di Impianti Termotecnici, Pitagora, Bologna, 1998.

*In inglese - per la parte termodinamica*

- J. Moran and H. Shapiro, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Wiley, NY,
- R. Sonntag and G. Van Wylen, Introduction to Thermodynamics: Classical and Statistical, Wiley, NY

*Testi di esercizi*

- Boeche, A. Cavallini e S. Del Giudice, Problemi di Termodinamica Applicata, CLEUP, Padova, 1992.
- Schaum Electronic Book, Thermodynamics (un libro elettronico interattivo, scritto in Mathcad).

I testi in inglese e quello di Mastrullo et al. contengono numerosi esercizi, molti dei quali risolti.

Il testo di Mastrullo et al. contiene un dischetto con tre programmi di calcolo per l'analisi di cicli termodinamici (RACY, JOULE, EASY).

Tutti i testi elencati sono disponibili presso la Biblioteca Centrale.

## 7 - MODALITA' DI ESAME E CRITERI DI VALUTAZIONE

L'esame consiste in una prova orale che include nella prima parte la discussione delle tavole redatte durante l'anno. Sono prevista una o più prove scritte intermedie di verifica (facoltative e da concordarsi nel corso dell'anno), di cui una in particolare alla fine del primo periodo di lezione. Di tali prove si terrà conto in sede di esame in caso di esito favorevole. A coloro che non hanno sostenuto nessuna di tali prove, o hanno avuto esito insufficiente, sarà assegnato un esercizio numerico individuale da risolvere integralmente in sede di esame finale.

La valutazione dell'esame tiene conto:

- della preparazione raggiunta dal candidato (sulla base dell'elaborazione delle tavole e della prova orale);
- della familiarità acquisita sia con le nozioni impartite nel corso sia con le conoscenze pregresse che formano la base della cultura tecnica;
- della capacità di risolvere autonomamente i problemi utilizzando le nozioni apprese;
- dell'apporto personale agli elaborati presentati e della capacità di giustificare le scelte operate in tale ambito;
- ed infine della capacità di esprimersi in un linguaggio tecnico chiaro ed appropriato.

**PIANIFICAZIONE A.A. 2004/2005**

ARGOMENTO	N. ORE	TESTO DI RIFERIMENTO	ALTRO MATERIALE (per applicazioni e approfondimenti)
<p><b>1. Concetti fondamentali della termodinamica</b>                      Sistema, ambiente, contorno; sistemi aperti e chiusi.                      Proprietà di stato e equazioni di stato. Variabili estensive ed intensive. Stato di equilibrio e stato stazionario.                      Trasformazioni reversibili e irreversibili.                      Gli scambi di materia: portata massica e volumica. Gli scambi energetici: lavoro meccanico (di dilatazione e di efflusso), lavoro generalizzato (cenni), calore.                      Principio zero e temperatura.                      Primo principio della termodinamica: energia interna ed entalpia.                      Secondo principio (cenno preliminare): integrale di Clausius, entropia, equazioni di Gibbs.</p>		Dispense Cap.1	
<p><b>2. Legami tra funzioni di stato</b>                      I coefficienti termodinamici (<math>c_p</math>, <math>c_v</math>, <math>\beta</math>, <math>\kappa</math>)</p>		Dispense Cap.1	
<p><b>3. I fluidi bivalenti.</b>                      I vapori saturi. I diagrammi termodinamici: di Andrews (<math>p,v</math>), di Regnault (<math>p,T</math>), entropico (<math>T,s</math>), entalpico o di Mollier (<math>h,s</math>). Diagramma (<math>p,h</math>). La determinazione dello stato fisico. Titolo del vapore e grado di vuoto.                      Il modello di gas perfetto. Cenno alle equazioni di stato per i gas reali.                      Il modello di fluido incomprimibile.</p>		Dispense Cap. 3	Tabelle termodinamiche del vapore d'acqua e di altri fluidi. Diagrammi termodinamici. Programmi di calcolo delle proprietà T.D.
<p><b>4. Equazioni di bilancio della termodinamica</b>                      Bilancio di massa, energia ed entropia.                      Casi particolari: sistemi chiusi, sistemi aperti in regime permanente.</p>		Dispense Cap.4	
<p><b>5. Componenti di sistemi termodinamici</b>                      Lavoro e potenza di espansione e compressione.                      Espansione e compressione irreversibili: rendimento isoentropico. Compressione multistadio.                      Caldaie e scambiatori di calore.                      Il processo di laminazione.                      Ugelli e diffusori.</p>		Dispense Cap.5	Mastrullo et al. Cap. 1
<p><b>6. Moto dei fluidi nei condotti</b>                      Equazione di Bernoulli generalizzata e sua applicazione al calcolo dei condotti.</p>		Dispense Cap.6	
<p><b>7. Macchine termiche semplici. Cicli termodinamici.</b>                      Enunciati di Clausius e Kelvin-Planck e loro equivalenza.                      Cicli termodinamici semplici diretto (di Carnot) e inverso. Rendimento, COP e loro significato.                      Cenni alla funzione disponibilità ed al bilancio exergetico.</p>		Dispense Cap.7	
<p><b>8. Verifica in itinere (compitino) al termine del I periodo di lezione.</b></p>			
<p><b>9. Cicli diretti a gas e vapore</b>                      Ciclo Rankine-Hirn: ciclo a vapore saturo e surriscaldato, spillamenti (cenno) e risurriscaldamenti.                      Ciclo Joule-Brayton: ciclo semplice, ciclo rigenerato, compressioni multiple, effetto delle irreversibilità.                      Ciclo combinato.                      Ciclo Otto e ciclo Diesel e cenni ai motori alternativi a combustione interna</p>		Dispense Cap. 8	Programmi di calcolo (es. RACY, JOULE). Mastrullo Cap.2 Cavallini-Mattarolo, Cap. 10  Della Volpe Cap.8 (parz.)
<p><b>10. Impianti cogenerativi</b>                      Cogenerazione con turbine a gas, a vapore e motori a c.i.</p>		Dispense cap. 13	Anglesio, Capp. 5-6.
<p><b>11. Cicli inversi a vapore</b>                      Ciclo frigorifero umido e secco: ciclo termodinamico e</p>		Dispense Cap. 9	Programmi di calcolo (es. EASY).

<p>principali componenti dell'impianto. Pompe di calore. Cenni al ciclo frigorifero ad assorbimento.</p>			<p>Mastrullo Cap.3 Cavallini-Mattarolo, Cap. 11</p>
<p><b>12. Impianti motori</b> Principi di funzionamento delle macchine a fluido volumetriche e dinamiche. Equazione di Eulero. Turbomacchine a vapore ed a gas: tipologie e campi di applicazione.</p>		<p>Dispense cap. 14</p>	<p>Della Volpe Cap.4 Della Volpe Cap.6-7 (parz.)</p>
<p><b>13. Cenni alle macchine idrauliche</b> Turbine idrauliche e impianti idroelettrici.</p>		<p>Lucidi proiettati a lezione Della Volpe, cap.12 (parz.)</p>	
<p><b>14. Cenni ai meccanismi di trasmissione del calore</b> Postulato di Fourier ed equazione di Fourier. Conduzione in pareti cilindriche e piane. Isolamento termico. Cenni alla fisica del fenomeno convettivo. Convezione forzata e naturale. Analisi dimensionale, numeri di Reynolds, Prandtl, Grashof e Nusselt. Convezione naturale e forzata. Correlazioni di uso pratico. Cenni allo scambio termico per irraggiamento. Analogia tra flusso di calore e flusso di corrente. Il concetto di resistenza termica. Trasmissione del calore attraverso una parete lambita da due fluidi. Esempi di problemi in condizioni non stazionarie, approssimazione a piccoli numeri di Biot.</p>		<p>Dispense Cap.2 (I parte)</p>	<p>Cengel, Capp. da 10 a 14  Programmi di calcolo redatti in EXCEL</p>
<p><b>15. Scambiatori di calore</b> Tipologia dei piu' comuni scambiatori di calore e loro campo di applicazione. Calcolo degli scambiatori di calore a superficie: metodo della differenza di temperatura media logaritmica e metodo dell'efficienza-NUT. Scambiatori con cambiamento di stato. Condensatori Confronto tra i vari tipi di scambiatori a superficie.</p>		<p>Dispense Cap.11</p>	<p>Programmi di calcolo redatti in EXCEL</p>
<p><b>16. Combustibili e combustione</b> Vari tipi di combustibili e loro campo di utilizzo Potere calorifico, aria teorica e aria pratica. Cenni ai principali inquinanti da combustione e alle relative azioni mitigatorie.</p>		<p>Dispense Cap.12</p>	<p>Della Volpe, Cap.2 Anglesio, Cap.2</p>