

**Università degli Studi di Pisa**  
**Corso di laurea in Ingegneria Chimica**  
 Specifica dell'insegnamento di  
**SISTEMI ENERGETICI (6 CFU)**

### 1. Docenza

**Docente: prof. ing. Roberto Lensi**

Dipartimento di Energetica

Tel.: 050/2217129

Fax: 050/2217150

e-mail: r.lensi@ing.unipi.it

WEB: <http://www.docenti.ing.unipi.it/~d4590>

**Collaboratori: ing/dott/.....**

Dipartimento di .....

Tel.: 050/.....

Fax: 050/.....

e-mail: .....@ing.unipi.it

WEB: <http://www.....>

### 2. Finalità ed obiettivi dell'insegnamento

*Le finalità del corso sono:*

- *fornire agli allievi competenze sulla disponibilità, la conversione e l'utilizzazione dell'energia, immediatamente spendibili in ogni attività professionale;*
- *fornire agli allievi le necessarie conoscenze sui diversi sistemi di conversione dell'energia, termici e idraulici, motori e operatori, per la gestione dell'energia in ambito industriale e civile.*

*Obiettivo del corso è portare lo studente a:*

- *conoscere gli aspetti descrittivi ed i fondamenti teorici dei principali sistemi per la conversione dell'energia, nonché delle macchine a fluido e delle apparecchiature che costituiscono tali sistemi;*
- *saper calcolare le prestazioni energetiche ed exergetiche, nonché i relativi coefficienti di prestazione, dei sistemi energetici, termici e idraulici, motori e operatori, e dei loro singoli componenti principali.*

### 3. Pre-requisiti in ingresso e competenze minime in uscita

Pre requisiti (in ingresso)	Insegnamenti fornitori
<i>Saper effettuare studi di funzione, saper differenziare, derivare ed integrare funzioni di più variabili, saper risolvere semplici equazioni differenziali ordinarie.</i>	<i>Matematica</i>
<i>Conoscenze dei fondamenti della meccanica. Principi della dinamica. Lavoro ed energia, conservazione dell'energia meccanica. Meccanica dei fluidi.</i>	<i>Fisica Generale</i>
<i>Conoscenze di chimica generale e di chimica inorganica.</i>	<i>Chimica</i>
<i>Conoscenze di termodinamica.</i>	<i>Termodinamica dell'Ingegneria Chimica</i>

Competenze minime (in uscita)	Insegnamenti fruitori
<i>Saper classificare le fonti di energia ed i sistemi di conversione.</i>	
<i>Saper inquadrare ciascun sistema per la conversione dell'energia sotto il profilo dello sviluppo storico e del conseguente andamento delle prestazioni energetiche.</i>	
<i>Saper calcolare la massima energia meccanica ottenibile da ciascuna forma di energia disponibile.</i>	
<i>Saper descrivere e rappresentare graficamente ciascun sistema energetico, macchina a fluido e apparecchiatura per la conversione dell'energia.</i>	<i>Impianti Chimici</i>
<i>Saper calcolare le prestazioni dei sistemi energetici, nonché dei loro singoli componenti.</i>	

#### 4. Metodologia didattica

La metodologia didattica impiegata consiste in:

- lezioni in aula con uso di lavagna luminosa;
- esercitazioni numeriche in aula impostate e guidate dal docente;
- autonoma elaborazione scritta da parte degli studenti delle esemplificazioni ed esercitazioni numeriche e grafiche.

#### 5. Programma, articolazione e carico didattico

Argomento	Lezioni A	Esercit. B	Lab. C	Totale Ore di Carico Didattico = 3A+3B+2C
<b>Conversione dell'Energia e Macchine a Fluido.</b> Introduzione. Sistemi energetici. Classificazione delle macchine a fluido. Unità di misura. Analisi dimensionale. Il problema energetico. Cenni storici. Fonti di energia e sistemi di conversione.	4	2	-	18
<b>Termodinamica Applicata alle Macchine.</b> Trasformazioni reversibili e irreversibili. Rappresentazioni grafiche nei principali piani termodinamici. Processi termodinamici, circuiti del fluido e cicli termodinamici. Cicli diretti e inversi. Ciclo ideale, limite e reale. Coefficienti di prestazione (rendimenti, coefficienti di effetto utile, consumi specifici).	4	2	-	18
<b>Energia ed Exergia.</b> Bilancio di massa. Bilancio di energia (principio di conservazione dell'energia). Massimo rendimento di un motore termico. Cicli termodinamici di massimo rendimento (Carnot, Ericsson, Stirling): calcolo del rendimento. Ciclo di Carnot inverso: calcolo dei coefficienti di effetto utile. Differenti tipi di irreversibilità. Lavoro di ripristino. Relazione di Gouy-Stodola. Classificazione e caratteristiche delle diverse forme di energia. Il concetto di exergia. Calcolo dell'exergia. Bilancio di exergia (principio di degradazione dell'energia). Il rendimento exergetico. Determinazione delle irreversibilità. Rappresentazioni grafiche. Il piano termodinamico: exergia fisica - entalpia. La fattibilità termodinamica.	9	3	-	36

<p><b>Sistemi Termici Motori.</b> <i>Classificazione. Sistemi a vapore. Cicli termodinamici Rankine e Hirn. Ciclo limite a vapore nei diversi piani termodinamici. Calcolo del rendimento limite. Tabelle di Mollier. Centrali termoelettriche. Motrici volumetriche e dinamiche. Generatore di vapore. Rendimento totale e consumo specifico di calore. Cenni sulla combustione. Temperatura di combustione. Sistemi a gas. Classificazione. Ciclo Lenoir. Motori volumetrici a combustione interna. Cicli termodinamici Otto, Diesel e Sabathé. Calcolo del rendimento ideale. Diagrammi indicati. Motori alternativi ad accensione comandata e ad accensione spontanea (per compressione). Rendimento totale e consumo specifico di combustibile. Motori dinamici. Sistemi a combustione esterna (a circuito chiuso) e sistemi a combustione interna (a circuito aperto). Cicli termodinamici Joule (Brayton) e Holzwarth. Calcolo del rendimento ideale. Prestazioni energetiche. Rendimento totale e consumo specifico di calore. Sistemi Combinati. Classificazione. Sistemi combinati gas/vapore. Schemi d'impianto. Caratteristiche di funzionamento e cenni sulle prestazioni energetiche. Generatori di vapore a recupero di calore. Rendimento totale e rapporto tra le potenze. Sistemi cogenerativi. La produzione combinata di lavoro e di calore utile. Schemi d'impianto. Elementi di analisi energetica ed exergetica. Indici di prestazione.</i></p>	9	3	-	36
<p><b>Sistemi Termici Operatori.</b> <i>Classificazione. Compressori. Compressori volumetrici (alternativi e rotanti). Compressione in più stadi. Compressori dinamici (radiali e assiali). Curve caratteristiche dei compressori centrifughi. Frigoriferi e pompe di calore. Schemi d'impianto. Cicli termodinamici inversi. Cenni sui fluidi operatori. Frigoriferi. Pompe di calore. Prestazioni energetiche ed exergetiche. Coefficienti di prestazione.</i></p>	4	2	-	18
<p><b>Sistemi Idraulici.</b> <i>Classificazione. Sistemi idraulici motori. Descrizione generale. Schemi d'impianto. L'equazione dell'energia. Macchine idrauliche motrici. Cenni sulla teoria della similitudine e numero di giri specifico. Turbine idrauliche ad azione e a reazione. Turbine Pelton. Potenza e rendimento. Condizioni di massimo rendimento. Macchine idrauliche operatrici. Pompe volumetriche (alternative e rotanti). Pompe dinamiche (radiali e assiali). Curve caratteristiche delle pompe centrifughe. Il fenomeno della cavitazione. Altezza di aspirazione, NPSH (Net Positive Suction Head).</i></p>	6	2	-	24
<b>Totale</b>	36	14	-	150

## 6. Materiale didattico

I testi base consigliati per il corso, disponibili in rete (homepage del docente) o presso la biblioteca di Facoltà, sono:

- Dispense preparate dal docente.
- Lensi, "Appunti di Sistemi Energetici. Introduzione. Conversione dell'Energia e Macchine a Fluido", SEU, Pisa, 2003.
- Kotas, "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1995.
- Della Volpe, "Macchine", Liguori Editore, Napoli, 1994.

*Ulteriori approfondimenti sono consigliati sui seguenti testi, disponibili presso la biblioteca di Facoltà:*

- Acton, Caputo, "Introduzione allo studio delle Macchine", UTET, Torino, 1979.
- Acton, Caputo, "Impianti motori", UTET, Torino, 1992.
- Acton, Caputo, "Compressori ed espansori volumetrici", UTET, Torino, 1992.
- Beccari, Acton, "Motori termici volumetrici", UTET, Torino, 1987.
- Acton, "Turbomacchine", UTET, Torino, 1986.

## **7. Modalità di verifica/esame**

*L'esame si svolge, di norma, come segue:*

- a) Iscrizione all'esame la mattina stessa dell'appello entro le ore 09:00 presso il Dipartimento di Energetica (Macchine).*
- b) Consegna degli elaborati sulle esemplificazioni ed esercitazioni numeriche e grafiche.*
- c) Prova orale: discussione sugli elaborati, risoluzione di problemi e risposte a domande aperte.*

*Il voto finale tiene conto sia della preparazione raggiunta dal candidato (sulla base dell'elaborazione scritta e della prova orale), sia della capacità di risolvere i problemi e dell'autonomia di cui il candidato si dimostra capace, sia dell'apporto personale agli elaborati presentati e della capacità di giustificare le scelte operate, sia della capacità di esprimersi in un linguaggio tecnico appropriato.*