



ANNO ACCADEMICO: 2016/2017

INSEGNAMENTO/MODULO: **Macchine & Sistemi Energetici**

TIPOLOGIA DI ATTIVITÀ FORMATIVA: **Caratterizzante**

DOCENTE: Bonfiglioli A. (6 CFU) e Magi V. (3 CFU)

e-mail: [aldo.bonfiglioli@unibas.it](mailto:aldo.bonfiglioli@unibas.it), [vinicio.magi@unibas.it](mailto:vinicio.magi@unibas.it)

sito web:

<http://oldwww.unibas.it/utenti/bonfiglioli/www.html>

Telefono: 0971.205203 (Bonfiglioli) 0971.205204 (Magi)

cell. di servizio : 329.3178364 (Bonfiglioli)

Lingua di insegnamento: italiano

n. CFU: 9

n. ore: 90

Sede: Potenza

Semestre: secondo

Scuola: Ingegneria

CdS: Ingegneria Meccanica

#### OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO

Il corso ha l'obiettivo di fornire le conoscenze sull'architettura ed il funzionamento delle macchine operatrici dinamiche (turbomacchine) e volumetriche a fluido incompressibile (turbopompe) e comprimibile (compressori volumetrici), le macchine motrici dinamiche a fluido incompressibile (turbine idrauliche) e comprimibile (turbine termiche) ed i motori a combustione interna. Tali conoscenze sono finalizzate a fornire le capacità necessarie per saper scegliere e gestire nel modo più opportuno le macchine a fluido utilizzate nei processi industriali.

Le principali **conoscenze** fornite saranno:

- elementi di base di termodinamica e fluidodinamica applicata;
- conoscenze relative alle principali tipologie di macchine a fluido, operatrici e motrici, volumetriche e a flusso continuo (turbomacchine);
- caratteristiche fondamentali di turbopompe centrifughe, compressori volumetrici, turbine idrauliche e termiche, motori a combustione interna;
- conoscenze di base per affrontare lo studio dei sistemi energetici che utilizzano macchine a fluido, tra cui: motori aeronautici, impianti idroelettrici, turbomotori a gas, impianti di sollevamento;

Le principali **abilità** (ossia la capacità di applicare le conoscenze acquisite) saranno:

- analizzare macchine a fluido esistenti, allo scopo di identificarne le condizioni di funzionamento;
- valutare le tipologie di macchine più idonee a soddisfare gli assegnati requisiti progettuali.

#### PREREQUISITI

È necessario avere acquisito e assimilato le seguenti conoscenze fornite dai corsi di "Analisi I", "Fisica I", "Meccanica dei Fluidi" e "Fisica Tecnica":

1. Conoscenza del calcolo differenziale in una variabile indipendente;
2. Conoscenza della cinematica e dinamica del punto materiale;
3. Conoscenza dei concetti basilari di termodinamica, in particolare quelli relativi al 1° e 2° Principio della Termodinamica, entropia, gas ideali: equazione di stato, energia interna ed entalpia, calori specifici, entropia, trasformazioni politropiche.
4. Conoscenza approfondita degli impianti termici a vapore.
5. Conoscenza di alcuni concetti basilari della dinamica dei fluidi, in particolare quelli relativi a: sistema fluido e volume di controllo; il principio di conservazione della massa e della quantità di moto riferito ad un sistema fluido e ad un volume di controllo; il teorema del trasporto; il teorema di Bernoulli; regime di moto laminare e regime turbolento, il concetto di strato limite.

È caldamente consigliato, ma non obbligatorio, che lo studente abbia sostenuto l'esame del corso di Fisica Tecnica,



---

prima di sostenere l'esame del corso di Macchine & Sistemi Energetici.

---

#### CONTENUTI DEL CORSO

1. **Classificazione delle macchine e Richiami di termodinamica** (11 ore teoria + 2 ore esercitazioni numeriche)
  1. Primo e secondo principio della termodinamica
  2. Punto di vista euleriano e lagrangiano
  3. Sistema di riferimento fisso e rotante
  4. Macchine termiche ed idrauliche
  5. Macchine volumetriche e turbomacchine
  6. Cicli termodinamici: rendimenti
  7. Gas termicamente e caloricamente perfetti
  8. Diagrammi (p,v) e (T,s)
  9. Trasformazioni: isentropica, isobara, isocora, isoterma
  10. Calore specifico: definizione ed interpretazione grafica
  11. Trasformazioni politropiche: calcolo del lavoro
  12. Lavoro minimo di compressione
  13. Controrecupero e rendimenti di compressione
  14. Recupero e rendimenti di espansione
2. **Flusso quasi-unidimensionale di un fluido comprimibile** (9 ore teoria + 2 ore esercitazioni numeriche)
  1. Limiti di validità
  2. Flusso isoentropico
  3. Grandezze totali e critiche
  4. Legge delle aree
  5. Portata in massa
  6. Ugelli convergenti
  7. Ugelli convergenti-divergenti
  8. Triangoli di velocità
3. **Macchine operatrici idrauliche** (8 ore teoria + 2 ore esercitazioni numeriche)
  1. Classificazione e richiami di fluidodinamica
  2. Pompe centrifughe
    1. Componenti della macchina
    2. Importanza del campo di forze centrifughe
    3. Girante
    4. Scorrimento
    5. Diffusore
    6. Lavoro delle resistenze passive
    7. Similitudine fluidodinamica
    8. Curve caratteristiche
    9. Curve caratteristica dell'impianto; punto di funzionamento e stabilità di funzionamento
    10. Regolazione
    11. Cavitazione: altezza massima d'installazione
    12. Pompe in serie ed in parallelo
    13. Numero di giri caratteristico: progetto di massima e scelta di una pompa
4. **Turbine idrauliche** (13 ore teoria + 5 ore esercitazioni numeriche)
  1. Classificazioni
  2. Parametri fondamentali di funzionamento
  3. Il diagramma collinare di una turbina idraulica



- 
4. Similitudine fluidodinamica, numero di giri e portata specifici
  5. Numero di giri caratteristico: scelta della turbina
  6. Turbine Pelton:
    1. Linea dei carichi (piezometrico e totale) nella macchina;
    2. Descrizione della macchina
    3. Triangoli delle velocità
    4. Rendimento idraulico, coppia, potenza
    5. Massimo salto utilizzabile
    6. Regolazione e curve caratteristiche
  7. Turbine Francis:
    1. Linea dei carichi (piezometrico e totale) nella macchina
    2. Descrizione della macchina
    3. Triangoli delle velocità; coefficiente di velocità
    4. Grado di reazione;
    5. Numero di giri caratteristico;
    6. Regolazione e curve caratteristiche
  8. Turbine Kaplan:
    1. Descrizione della macchina
    2. Triangoli delle velocità: vortice libero
    3. Regolazione e curve caratteristiche
    4. Utilità del diffusore; cavitazione
  5. **Compressori volumetrici alternativi** (12 ore teoria + 4 ore esercitazioni numeriche)
    1. Schemi costruttivi
    2. Ciclo ideale, reale e convenzionale
    3. Regolazione per: variazione del numero di giri; laminazione all'aspirazione; riflusso; anticipo/posticipo chiusura valvole; variazione del grado di spazio morto; tutto o niente
    4. Compressori pluristadio: schemi costruttivi e regolazione
  6. **Impianti Turbogas** (6 ore teoria + 2 ore esercitazioni numeriche)
    1. Generalità: problematiche, classificazione e notazione
    2. Turbina a ciclo semplice non rigenerativo:
      1. ciclo
      2. impianto
      3. rendimento termico ideale e limite
      4. influenze sul rendimento termico limite
      5. lavoro massico ideale
      6. perdite della turbina a ciclo semplice
      7. cicli semplici reali
      8. rendimento termico globale
      9. influenza del rapporto manometrico di compressione sul ciclo reale
      10. influenza della temperatura
      11. influenza dei rendimenti particolari
      12. dosatura del combustibile
    3. Turbina a ciclo rigenerativo
    4. Turbina a ciclo complesso
  7. **Turbine assiali** (3 ore teoria + 4 ore esercitazioni numeriche)
    1. Turbina semplice assiale ad azione
-



- 
2. Turbina semplice assiale a reazione
  8. **Motori a combustione interna** (10 ore teoria + 4 ore esercitazioni numeriche)
    1. Generalità
      1. Classificazioni
      2. Ciclo di funzionamento
      3. Costituzione della macchina
    2. Parametri fondamentali di funzionamento
      1. Parametri geometrici
      2. Lavoro, potenza e pressione media
      3. Cicli e rendimenti
      4. Il rendimento organico
    3. Il ciclo ideale
      1. Fase di fornitura di calore
      2. Fase di cessione di calore
      3. Cicli tipici
      4. Calcolo del ciclo ideale
        1. Fase di compressione
        2. Fase di fornitura di calore
        3. Fase di espansione
        4. Fase di cessione di calore
    4. Il ciclo limite
      1. Fase di aspirazione
      2. Fase di compressione
      3. Fase di combustione
      4. Fase di espansione
      5. Fase di scarico
      6. Temperatura di inizio compressione
      7. Esempio di calcolo
      8. Confronto tra ciclo ideale e ciclo limite Otto
      9. Confronto tra ciclo ideale e ciclo limite Sabathè
    5. Funzionamento reale del motore
      1. Il rendimento indicato
      2. Aspirazione, espulsione e scarico nei motori 4T
        1. Pressione all'interno del cilindro
        2. Temperatura di fine aspirazione
      3. Coefficiente di riempimento
        1. Velocità di rotazione del motore e fenomeni ad essa connessi
        2. Pressione e temperatura nell'ambiente di aspirazione
        3. Pressione e temperatura dei gas residui
      4. Espressione della pme
      5. Variazione delle prestazioni al variare delle condizioni ambiente
      6. Regolazione del motore
    6. Curve caratteristiche

---

#### METODI DIDATTICI

Il corso prevede 90 ore di didattica tra lezioni teoriche frontali ed esercitazioni numeriche; queste ultime,



indicativamente, coprono il 25% delle 90 ore di didattica. A completamento delle ore di didattica frontale, potranno essere organizzate visite tecniche, e/o seminari di esperti esterni.

#### MODALITÀ DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

L'obiettivo della prova d'esame consiste nel verificare il livello di raggiungimento degli obiettivi formativi precedentemente indicati.

Le prove di esame si articolano in una prova scritta seguita, a distanza di circa una settimana (quattro giorni nel caso dell'appello di Luglio), da una prova orale.

La prenotazione per la **prova scritta** è obbligatoria e deve avvenire tramite i Servizi Web Docenti/Studenti (ESSE3) accessibili dalla home page dell'Ateneo.

Le modalità di svolgimento e di valutazione della **prova scritta** sono le seguenti:

1. Il docente assegnerà a ciascuno studente, in modo casuale, un posto a sedere in aula.
2. Ciascuno studente riceverà la traccia della prova scritta e due fogli protocollo siglati.
3. A ciascuno studente sarà richiesto di apporre la propria firma sul registro delle presenze.
4. I dati presenti nelle tracce dipendono da un numero intero N (variabile da studente a studente) il cui valore numerico è annotato sulla traccia.
5. Non è consentito l'uso di appunti e/o libri, tuttavia gli studenti del corso di Macchine e Sistemi Energetici devono avere con sé il diagramma di Mollier (in formato cartaceo).
6. Ciascuno studente dovrà usare solo i fogli protocollo che sono stati distribuiti, sia per la "bella" copia che per la eventuale "brutta" copia.
7. Qualora lo studente abbia bisogno di altri fogli, dovrà chiedere al docente presente in aula un altro foglio protocollo già siglato.
8. Lo studente che abbia bisogno di allontanarsi momentaneamente dall'aula dovrà lasciare tutti i fogli e la traccia sulla cattedra.
9. Ciascuno studente, sia che decida di consegnare, sia che decida di rinunciare alla correzione, dovrà riconsegnare tutti i fogli che ha ricevuto (inclusa la traccia e la eventuale "brutta" copia), avendo cura di riportare i risultati negli appositi spazi disponibili sulla traccia.
10. Prima di lasciare l'aula, lo studente dovrà firmare l'apposito registro nella colonna "consegna" oppure "non consegna".
11. La durata della prova scritta è, di norma, di tre (3) ore.
12. Eventuali tracce "in bianco" di cui il docente disponga potranno essere consegnate (a chi le richieda) solo nell'ultima mezz'ora e solo a chi stia lasciando l'aula.
13. La prova scritta consta di 3 esercizi, inerenti gli aspetti pratico/applicativi trattati nel corso; ciascuno di questi vale 10 punti. Si è ammessi alla prova orale nel caso in cui il voto della prova scritta sia:
  - $\geq 12/30$  ed almeno due esercizi siano stati risolti con votazione sufficiente, per esempio: 6,6,0.
  - $\geq 16/30$  nel caso in cui uno solo degli esercizi sia sufficiente, per esempio: 10,5,1 oppure 6,5,5.

La **prova orale** segue la prova scritta a distanza di circa una settimana. La prova orale deve essere sostenuta nello stesso appello in cui è stata sostenuta la prova scritta. Coloro che non si presentino alla prova orale, pur avendo superato la prova scritta, dovranno nuovamente sostenere l'esame scritto. La prenotazione per la prova orale è obbligatoria e potrà essere effettuata una volta presa visione (mediante il software ESSE3) dei risultati della prova scritta. La **prova orale** consiste in:

1. tre quesiti inerenti i contenuti teorici di tre diversi argomenti del corso che lo studente estrae a sorte ed ai quali risponde per iscritto;
2. un colloquio con almeno uno dei docenti della commissione di esame.

I voti della prova scritta e della successiva prova orale forniscono il voto finale; il voto finale sarà non inferiore alla media aritmetica delle votazioni conseguite nella prove scritta ed orale.



---

#### TESTI DI RIFERIMENTO E DI APPROFONDIMENTO, MATERIALE DIDATTICO ON-LINE

Il materiale didattico consiste nel seguente testo a stampa:

- Elementi di macchine operatrici a fluido. Luciano A. CATALANO, Michele NAPOLITANO, 2001/2, 208 pagine, ISBN 88-371-1241-6, Editore Pitagora.

Il restante materiale didattico, necessario e sufficiente alla preparazione delle prove di esame, è reperibile su di un server cloud dell'Ateneo, accessibile dalla pagina web del docente alla voce: "Materiale Didattico".

In particolare, nella cartella "Materiale\_didattico\_UniBAS" è disponibile la versione aggiornata del programma del corso ("esercizi\_e\_programma.pdf", la data dell'ultimo aggiornamento è indicata nella pagina di copertina) con l'indicazione dei capitoli dei testi e/o appunti utilizzati dal docente per i diversi argomenti.

Il file "esercizi\_e\_programma.pdf" contiene anche esercizi (alcuni svolti, altri con la sola soluzione numerica) utili per la preparazione della prova scritta.

Il file Video\_ed\_Immagini.zip contiene il materiale audiovisivo utilizzato dal docente durante il corso.

Le prove di esame dei precedenti appelli sono reperibili nella pagina web del docente alla voce: "Risultati delle prove di esame e tracce di esame".

---

#### METODI E MODALITÀ DI GESTIONE DEI RAPPORTI CON GLI STUDENTI

All'inizio del corso, dopo aver descritto obiettivi, programma e metodi di verifica, il docente mette a disposizione degli studenti il materiale didattico (cartelle condivise, sito web, etc). Contestualmente, il docente raccoglie l'elenco degli studenti che intendono frequentare il corso, corredato di nome, cognome, matricola ed email.

Il docente riceve presso il proprio studio dal lunedì al venerdì, dalle 8:30 alle 12:30, compatibilmente con i propri altri impegni istituzionali. L'effettiva disponibilità al ricevimento degli studenti può essere verificata al seguente indirizzo:

<http://oldwww.unibas.it/utenti/bonfiglioli/ricevimento.html>

Gli studenti che abbiano l'esigenza di essere ricevuti dal docente in orario pomeridiano possono farne richiesta tramite i contatti (e-mail, telefono di servizio) reperibili in questa scheda e nella rubrica telefonica dell'Ateneo.

---

#### DATE DI ESAME PREVISTE<sup>1</sup>

25/11/2016, 30/1/2017, 24/3/2017, 19/5/2017, 24/7/2017, 22/9/2017, 24/11/2017

Le date si riferiscono alla prova scritta

---

SEMINARI DI ESPERTI ESTERNI    SI     NO

---

ALTRE INFORMAZIONI

---

<sup>1</sup> Potrebbero subire variazioni: consultare la pagina web del docente o del Dipartimento/Scuola per eventuali aggiornamenti