



Insegnamento	Fluidodinamica delle Macchine
Livello e corso di studio	Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica (LM33)
Settore scientifico disciplinare (SSD)	IIND06/F
Anno di corso	2
Numero totale di crediti	9
Propedeuticità	Nessuna
Docente	Daniele Chiappini Corso di Studi in Ingegneria Meccanica Magistrale Nickname: chiappini.daniele Email: daniele.chiappini@unicusano.it Orario di ricevimento: Consultare il calendario alla pagina seguente del nostro sito verificando gli orari di Videoconferenza <a href="http://www.unicusano.it/calendario-lezioni-in-presenza/calendario-area-ingegneristica">http://www.unicusano.it/calendario-lezioni-in-presenza/calendario-area-ingegneristica</a>
Presentazione	Il corso di fluidodinamica delle macchine ha lo scopo di far acquisire allo studente una buona conoscenza delle diverse modalità di efflusso nei condotti a sezione costante ed a sezione variabile per un gas comprimibile. Nello specifico si analizzeranno le modalità di efflusso in condotti convergenti-divergenti, la propagazione di un'onda d'urto e l'efflusso con attrito e scambio di calore. Il corso propone i concetti basilari della fluidodinamica quali le equazioni di conservazione dell'energia e della massa, nonché alcune nozioni fondamentali sulla turbolenza. Le Etivity associate al corso sviluppano le competenze necessarie a formulare i problemi della fluidodinamica attraverso l'uso di sistemi di calcolo quali Octave/Matlab e la scrittura di elaborati tecnici tramite Word (o pacchetti gratuiti alternativi, OpenOffice).
Obiettivi formativi	Il corso di fluidodinamica delle macchine ha i seguenti obiettivi formativi: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Illustrare la derivazione dell'equazione di conservazione dell'energia;</li><li>2. Illustrare la derivazione dell'equazione di bilancio della quantità di moto e delle equazioni di Navier-Stokes;</li><li>3. Illustrare le possibili geometrie di un condotto caratterizzato da efflusso isoentropico;</li><li>4. Illustrare le modalità di propagazione delle onde e discutere la formazione di un'onda d'urto;</li><li>5. Illustrare le modalità di efflusso con attrito;</li><li>6. Illustrare le modalità di efflusso con scambio di calore;</li><li>7. Fornire concetti base di turbolenza.</li></ol>



Prerequisiti	<p>Non ci sono propedeuticità per la fluidodinamica delle macchine.</p> <p>Tuttavia è necessario che lo studente che si avvicina alla preparazione di questa materia abbia una buona padronanza di alcuni argomenti di matematica di base, di fisica e termodinamica applicata.</p>
Risultati di apprendimento attesi	<p><b>Conoscenza e capacità di comprensione (KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING)</b></p> <p>Lo studente al termine del Corso avrà dimostrato di conoscere gli argomenti di fluidodinamica di base, delle modalità di efflusso di fluidi comprimibili e dei principi di turbolenza, ed avrà acquisito la capacità di analisi degli stessi. Inoltre, lo studente acquisirà la conoscenza delle diverse modalità di efflusso nei condotti a sezione variabile ed a sezione costante con particolare riferimento a: efflusso isoentropico, onda d'urto, attrito e scambio di calore. Lo studente acquisirà infine metodi per l'analisi di sistemi fluidodinamici complessi che presentano la contemporanea presenza di diverse modalità di efflusso. Inoltre, tramite le Etivity lo studente acquisirà la capacità di formulare problemi della fluidodinamica all'interno del software Octave (o simili).</p> <p><b>Applicazione della conoscenza e comprensione (APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING)</b></p> <p>Lo studente sarà in grado di utilizzare la conoscenza della fluidodinamica di base e dei principi di gasdinamica per l'analisi dell'efflusso nei condotti a sezione costante o variabile; sarà inoltre in grado di implementare semplici codici di calcolo per la soluzione di problemi di fluidodinamica delle macchine. Le Etivity prevedono l'applicazione delle conoscenze teoriche a problemi pratici da risolvere con l'ausilio di software di calcolo (Octave o simili). Lo studente acquisirà la capacità critica di interpretare i risultati ottenuti durante lo svolgimento di un esercizio numerico sia in termini di coerenza fisica dei risultati ottenuti sia in termini di fattibilità ingegneristica della soluzione individuata.</p> <p><b>Capacità di trarre conclusioni (ABILITY TO DRAW CONCLUSIONS)</b></p> <p>Lo studente sarà in grado di individuare i modelli matematici più appropriati per descrivere i problemi proposti, in accordo con la trattazione teorica sviluppata durante le lezioni.</p> <p><b>Abilità comunicative (COMMUNICATION SKILLS)</b></p> <p>Lo studente svilupperà di un linguaggio scientifico corretto e comprensibile che permetta di esprimere in modo chiaro e privo di ambiguità le conoscenze tecniche acquisite nell'ambito dei problemi proposti ed analizzati. Al termine di ogni Etivity lo studente dovrà redigere una relazione tecnica analizzando i risultati ottenuti e discutendo criticamente le condizioni di applicabilità delle equazioni utilizzate.</p> <p><b>Capacità di apprendere (LEARNING SKILLS)</b></p> <p>Lo studente al termine del Corso avrà conoscenza delle nozioni fondamentali necessarie per l'analisi di sistemi fluidodinamici complessi. Tutto ciò gli consentirà di proseguire gli studi ingegneristici con maggiore maturità e gli fornirà le basi per poter apprendere quanto verrà proposto nei corsi successivi corsi della laurea specialistica in ingegneria meccanica. In conclusione, lo studente svilupperà la capacità di applicare le conoscenze acquisite per</p>



	la risoluzione di problemi non familiari che abbiano come oggetto l'analisi dei processi fluidodinamici di interesse.
Organizzazione dell'insegnamento	<p>Il corso è sviluppato attraverso le lezioni preregistrate audio-video che compongono, insieme a slide e dispense, i materiali di studio disponibili in piattaforma.</p> <p>Sono poi proposti dei test di autovalutazione, di tipo asincrono, che corredano le lezioni preregistrate e consentono agli studenti di accertare sia la comprensione, sia il grado di conoscenza acquisita dei contenuti di ognuna delle lezioni.</p> <p>La <b>DIDATTICA INTERATTIVA</b> è svolta nel forum della "classe virtuale" e comprende 2 Etivity che applicano le conoscenze acquisite nelle lezioni di teoria alla soluzione, tramite file Octave e relazioni tecniche in Word redatte dallo studente, di problemi tipici della fluidodinamica delle macchine.</p> <p>In particolare, il Corso di Fluidodinamica delle Macchine prevede 9 Crediti formativi. Il carico totale di studio per questo modulo di insegnamento è compreso tra 220 e 250 ore così suddivise in:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Circa 155 ore per la visualizzazione e lo studio del materiale videoregistrato (17.5 Ore videoregistrate di Teoria e 6.5 ore di esercitazioni) – <b>DIDATTICA EROGATIVA.</b></li><li>• Circa 60 ore di Didattica Interattiva per l'elaborazione e la consegna di 2 Etivity – <b>DIDATTICA INTERATTIVA.</b></li><li>• Circa 10 ore di Didattica Interattiva per l'esecuzione dei test di autovalutazione – <b>DIDATTICA INTERATTIVA.</b></li></ul> <p>Si consiglia di distribuire lo studio della materia uniformemente in un periodo di 10 settimane dedicando tra le 20 alle 30 ore di studio a settimana.</p>
Contenuti del corso	<p><b>Modulo 01 - Introduzione ai concetti di base (2 lezioni di teoria videoregistrate per un impegno di 7 ore - settimana 1):</b></p> <p>Scalari, vettori e tensori, Divergenza, gradiente e rotore, Divergenza, Gradiente, Rotore, Teoremi fondamentali, Primo principio della termodinamica, Secondo principio della termodinamica, Terzo principio della termodinamica, Modulo di elasticità, Streamline e streamtube, Flussi stazionari e non-stazionari, Viscosità e sforzi, Numeri adimensionali, Numero di Reynolds, Numero di Mach, Flusso laminare, Flusso laminare, turbolento, Coefficiente di attrito.</p> <p><b>Modulo 02 - L'Equazione di Conservazione dell'Energia – (2 lezioni di teoria ed 1 lezione di esercitazione videoregistrate per un impegno di 12 ore - settimana 1):</b></p> <p>Equazione di conservazione dell'energia per sistemi aperti e sistemi chiusi, Le grandezze totali (o di ristagno), Entalpia totale, Temperatura totale, Velocità del suono totale, Pressione totale, Densità totale, Rappresentazione delle grandezze totali nel piano T-s, Considerazioni sulle regioni di efflusso, Analisi delle velocità di riferimento, L'Equazione di Bernoulli, Il tubo di Pitot, Il tubo di Venturi, Gli effetti del numero di Mach sulla compressibilità.</p>



**Modulo 03 - Analisi di Flussi Multi-dimensionali ed Equazioni di Navier-Stokes – (3 lezioni di teoria e 2 lezioni di esercitazione videoregistrate per un impegno di 15.5 ore - settimana 2):**

Sistema di riferimento cartesiano, Descrizione lagrangiana ed euleriana, Equazioni di continuità, Equazioni della quantità di moto, Gli sforzi viscosi - Il tensore degli sforzi, Le equazioni di Navier-Stokes, Soluzioni esatte delle equazioni di Navier-Stokes, Flusso tra lastre piane parallele, Flusso di Couette.

**Etivity 1 – Risoluzione problema in Octave e stesura relazione tecnica (30 ore di carico di studio - settimane 2 e 3).**

In questa prima Etivity vengono proposti alcuni esercizi sui principali concetti sviluppati nei primi 3 moduli. Rispetto a quanto svolto nelle dispense tali esercizi si presentano in forma parametrica come illustrato nel testo dell'Etivity stessa. Al termine degli esercizi lo studente deve formalizzare una relazione scritta da inviare al docente per la valutazione.

**Modulo 04 - Efflussi Monodimensionali Attraverso Condotti a Sezione Variabile – (4 lezioni di teoria e 2 lezioni di esercitazione videoregistrate per un impegno di 19 ore - settimana 4):**

Confronto tra trasformazioni isoentropiche ed adiabatiche, Variazioni di sezione e numero di Mach, Espansione negli ugelli, Compressione nei diffusori, Condizioni di ristagno e condizioni critiche, Rapporto delle aree in funzione del numero di Mach, Calcolo della portata, Adimensionalizzazione in funzione del rapporto delle pressioni, Adimensionalizzazione in funzione del rapporto delle sezioni di passaggio, Adimensionalizzazione in funzione del numero di Mach, Efflusso negli ugelli, Ugelli convergenti, Ugelli convergenti-divergenti.

**Modulo 05 - Propagazione delle Onde – (5 lezioni di teoria e 1 lezioni di esercitazione videoregistrate per un impegno di 20 ore - settimana 5):**

Propagazione di onde in un mezzo solido elastico, Propagazione di onde di pressione infinitesimali – Onde Sonore, Numero di Mach ed angolo di Mach nella propagazione delle onde, Equazione di un'onda, Onde di pressione finite non-steep, Velocità di un'onda non-steep, Numero di Mach indotto da un'onda non-steep, Onde di pressione finite steep, Velocità di un'onda steep, Numero di Mach indotto dal passaggio di un'onda steep, Onde di espansione, Onde di espansione infinitesimali, Onde di espansione di ampiezza finita.

**Modulo 06 - Efflusso con Onde d'Urto – (6 lezioni di teoria e 2 lezioni di esercitazione videoregistrate per un impegno di 26 ore - settimane 6-7):**

Sviluppo di un'onda d'urto, Onde di rarefazione, Le equazioni di controllo, La curva di Fanno, La curva di Rayleigh, Relazione di Prandtl-Meyer, Numero di Mach a valle dell'onda d'urto, Pressione statica a cavallo dell'onda d'urto, Temperatura a cavallo dell'onda d'urto, Densità a cavallo dell'onda d'urto, Pressione totale a cavallo dell'onda d'urto, Entropia a



cavallo dell'onda d'urto, Impossibilità dell'onda d'urto in un flusso subsonico, Intensità di un'onda urto, Onde d'urto con intensità tendente a zero, Onde d'urto con elevata intensità, Determinazione del numero di Mach per flussi supersonici, Galleria del vento supersonica, Sezioni di gola di ugello e diffusore, Efficienza del diffusore, Onde d'urto normali in movimento, Velocità di un'onda d'urto in movimento all'interno di gas in quiete, Equazioni per onde d'urto in movimento.

**Modulo 07 - Efflusso con Attrito – (4 lezioni di teoria e 3 lezioni di esercitazione videoregistrate per un impegno di 21,5 ore - settimane 7-8):**

La curva di Fanno, Equazioni per il flusso di Fanno, Differenziali delle equazioni per il flusso di Fanno, Integrazione delle equazioni per il flusso di Fanno, Velocità, Densità, Temperatura, Pressione statica, Pressione totale, Variazione di entropia, Variazione del numero di Mach lungo il condotto, Flusso isoterma con attrito, Equazioni fondamentali per un flusso isoterma, Integrazione delle equazioni per il flusso isoterma con attrito, Pressione Statica, Velocità e Densità, Pressione Totale, Temperatura totale, Variazione di entropia, Lunghezza del condotto.

**Modulo 08 - Efflusso con Scambio di Calore - (3 lezioni di teoria e 2 lezioni di esercitazione videoregistrate per un impegno di 15.5 ore - settimana 8):**

La curva di Rayleigh, Pendenza della curva di Rayleigh, Curve isoentropiche, Curve isoentalpiche, Equazioni per il volume di controllo, Equazione di continuità, Bilancio della quantità di moto, Equazione di stato, Numero di Mach, Equazione dell'energia, Equazioni per il flusso di Rayleigh, Pressione statica, Pressione totale, Temperatura statica, Temperatura totale, Densità e Velocità, Variazione di entropia, Calore scambiato, Variazione delle grandezze termodinamiche, Calore massimo trasferibile.

**Etivity 2 – Risoluzione problema in Octave e stesura relazione tecnica (30 ore di carico di studio - settimana 9).**

In questa seconda Etivity viene proposto un macro-esercizio che racchiude tutte le modalità di efflusso analizzate nel corso. Al termine dell'esercizio lo studente deve formalizzare una relazione scritta da inviare al docente per la valutazione.

**Modulo 09 - Turbolenza e Strato Limite – (6 lezioni di teoria videoregistrate per un impegno di 21 ore - settimana 10):**

Principali fenomenologie della turbolenza, Influenza della vorticità, Presenza simultanea di scale molto diverse, La turbolenza è un fenomeno dissipativo, Analisi di flussi turbolenti, Equazioni di Reynolds, Viscosità turbolenta e lunghezza di mescolamento, Turbolenza omogenea e isotropa, Lo strato limite, Equazioni di Prandtl, Separazione dello strato limite.

Materiali di studio

MATERIALI DIDATTICI A CURA DEL DOCENTE



	<p>Il materiale didattico presente in piattaforma è suddiviso in 9 moduli. Essi ricoprono interamente il programma e ciascuno di essi contiene dispense, slide e videolezioni in cui il docente commenta le slide. Tale materiale contiene tutti gli elementi necessari per affrontare lo studio della materia.</p> <p>Testi consigliati:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fundamentals of Compressible Flow, S.M. YAHYA, Wiley Eastern Limited</li><li>• Elementi di Fluidodinamica - Un'introduzione per l'Ingegneria, G. Riccardi - D. Durante, Springer</li></ul>
Modalità di verifica dell'apprendimento	<p>L'esame consiste nello svolgimento di una <b>prova scritta</b> tendente ad accertare le capacità di analisi e rielaborazione dei concetti acquisiti e di una serie di attività (<b>etivity</b>) svolte durante il corso nelle <b>classi virtuali</b>.</p> <p>La valutazione delle etivity da 0 a 5 punti, è effettuata, in itinere, durante la durata del corso <b><u>(le etivity devono essere consegnate rigorosamente entro 7 giorni prima della data d'esame oppure 7 giorni prima del secondo esonero nel caso di prove parziali – eventuali ritardi causeranno la non valutazione delle stesse)</u></b>.</p> <p>In caso di svolgimento delle etivity, nella valutazione del voto finale, si terrà conto delle etivity <b>se e solo se</b> il voto della prova scritta risulterà superiore a 15/25. Resta inteso che lo svolgimento delle etivity è facoltativo, così come si evince dalla descrizione della prova riportata di seguito.</p> <p>In sede d'esame lo studente è libero di scegliere tra quattro diverse modalità di svolgimento della prova (organizzazione in parziali). Lo studente può scegliere la <b>modalità</b> che preferisce al <b>momento dell'esame senza comunicarlo preventivamente</b> al docente.</p> <p>Le possibili modalità sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Primo Esonero (Moduli 1, 2, 3, 9) – Valutazione da 0 a 14</b><ul style="list-style-type: none"><li>○ <b>Esercizio 1 – Valutazione da 0 a 7 punti</b></li><li>○ <b>Esercizio 2 – Valutazione da 0 a 7 punti</b></li></ul></li><li>• <b>Secondo Esonero (Moduli 4, 5, 6, 7, 8) – Valutazione da 0 a 16 (durata voto positivo Primo Esonero 1 anno solare dalla data del superamento)</b><ul style="list-style-type: none"><li>○ <b>Esercizio 3 – Valutazione da 0 a 11 punti (8 DESIGN + 3 OFF-DESIGN)</b></li><li>○ <b>Esercizio 4 – Valutazione da 0 a 5 punti</b></li></ul></li><li>• <b>Esame completo (tutti i Moduli) con etivity svolte e consegnate 1 settimana prima dell'esame - Esercizi 1, 2, 3 – Valutazione da 0 a 25</b></li><li>• <b>Esame completo (tutti i Moduli) senza etivity - Esercizi 1, 2, 3, 4 – Valutazione da 0 a 30.</b></li></ul> <p>Lo studente deve selezionare la scelta al momento dell'esame. In caso di assenza di spunta si considera come effettiva la modalità di svolgimento completa senza etivity (composta da 4 domande). <b>Resta inteso che lo studente può sostenere il secondo esonero solo dopo aver superato il primo (con una votazione di almeno 8/14 - La massima valutazione del primo parziale è 14/14). Si ritiene superato il secondo</b></p>



	<p><b>esonero con una votazione minima di 10/16 – La massima valutazione del secondo parziale è 16/16.</b></p> <p>Sarà anche presente nel compito un formulario autorizzato (fornito assieme al compito) - Rimangono comunque non ammessi eventuali formulari diversi da quello allegato. Resta inteso che, data la presenza del formulario, eventuali errori di calcolo saranno valutati discrezionalmente in funzione della gravità concettuale degli stessi.</p> <p>La prova scritta prevede 4 esercizi sui principali argomenti trattati nel corso: 2 esercizi sui moduli 1, 2, 3, 9 con una votazione che va da 0 a 7 punti; 1 esercizio sulle modalità di efflusso nei condotti con una votazione che va da 0 a 11 punti; 1 esercizio sulle modalità di efflusso nei condotti con una valutazione che va da 0 a 5 punti (da svolgere solo nel caso di parziali o esame completo senza etivity). Particolare attenzione nella valutazione delle risposte date viene data alla capacità dello studente di rielaborare il materiale presente in piattaforma.</p> <p>I risultati di apprendimento attesi circa le conoscenze della materia e la capacità di applicarle sono valutate dalla prova scritta, mentre le abilità comunicative, la capacità di trarre conclusioni e la capacità di autoapprendimento sono valutate in itinere attraverso le etivity. In sede di valutazione finale, si terrà conto anche della proficua partecipazione ai forum (aule virtuali) e al corretto svolgimento delle etivity proposte.</p>
Criteri per l'assegnazione dell'elaborato finale	L'assegnazione <b>dell'elaborato finale</b> avverrà sulla base di un colloquio con il docente in cui lo studente manifesterà i propri specifici <b>interessi</b> in relazione a qualche argomento che intende approfondire; non esistono <b>preclusioni</b> alla richiesta di assegnazione della tesi e non è prevista una <b>media particolare</b> per poterla richiedere.