

|  |  |
| --- | --- |
| **Insegnamento** | Dinamica dei flussi turbolenti |
| **Livello e corso di studio** | Laurea magistrale in Ingegneria Meccanica |
| **Settore scientifico disciplinare (SSD)** | ING-IND/06 |
| **Anno di corso** | 2 |
| **Numero totale di crediti** | 9 |
| **Propedeuticità** | nessuna |
| **Docente** | Paolo Mele  Facoltà: Ingegneria  Nickname: paolo.mele  Email: paolo.mele @unicusano.it  Orario di ricevimento: Consultare il calendario alla pagina seguente del nostro sito verificando gli orari di Videoconferenza <http://www.unicusano.it/calendario-lezioni-in-presenza/calendario-area-ingegneristica>  Orario delle lezioni: Consultare il calendario alla pagina seguente del nostro sito verificando gli orari di Lezione  <http://www.unicusano.it/calendario-lezioni-in-presenza/calendario-area-ingegneristica>  Date degli appelli: Consultare il calendario alla pagina <http://www.unicusano.it/date-appelli/appelli-ingegneria> per gli appelli nella sede di Roma, e alla pagina <http://www.unicusano.it/date-appelli/appelli-sedi-esterne> per gli appelli nelle sedi esterne |
| **Presentazione** | Questo insegnamento ha lo scopo di far acquisire allo studente una buona preparazione e competenza sullo stato attuale di conoscenza dei fenomeni turbolenti. La turbolenza, come è noto, è presente molto spesso nei deflussi fluidi, e rende complicata la risoluzione dei problemi di progettazione ingegneristica o la valutazione del comportamento funzionale in una moltitudine di applicazioni tecniche. La complicazione discende dalla non ancora completa prevedibilità del meccanismo d’innesco, sviluppo e effetti del fenomeno turbolento. Ciononostante lo stato dell’arte sull’argomento permette di affrontare molti problemi tecnici con buona affidabilità delle proposte risolutive a condizione di averne chiaro i limiti e i campi di applicabilità. A tale scopo l’insegnamento fornisce allo studente il panorama di conoscenza attuale sull’argomento in modo da metterlo in grado di poter effettuare una valutazione critica sugli interventi tecnici nelle applicazioni ingegneristiche. |
| **Obiettivi formativi** | L’insegnamento di *Dinamica dei flussi turbolenti* ha i seguenti obiettivi formativi:   1. Chiarire i concetti, illustrare le impostazioni e analizzare le metodologie necessari per affrontare lo studio della turbolenza, relativamente al **moto dei corpi deformabili**, alla **vorticità o irrotazionalità** e alla **cinematica e dinamica dei fluidi viscosi** 2. Illustrare i concetti e le metodologie relativamente alla **stabilità idrodinamica**, prologo all’innesco della turbolenza 3. Illustrare l’impostazione di studio della **meccanica della turbolenza** e le conseguenti equazioni che ne descrivono il comportamento generale sintetizzato e alcuni caratteri peculiari, nonché descrivere lo stato dell’arte raggiunto sulla comprensione del comportamento caotico turbolento 4. Illustrare i concetti e le metodologie finora sviluppati relativamente alla simulazione numerica della turbolenza, giustapponendoli ai metodi di realizzazione dei modelli fisici 5. Illustrare e chiarire le applicazioni dei concetti e dei metodi necessari allo studio della turbolenza alla semplificazione dello schema monodimensionale |
| **Prerequisiti** | Formalmente non vi sono esami propedeutici alla preparazione di questo insegnamento.  Tuttavia, è necessario che lo studente che si avvicina alla preparazione della materia trattata in questo insegnamento abbia una buona padronanza di alcuni argomenti di **meccanica dei fluidi** di base, svolti tipicamente nei corsi di Idraulica e/o Fluidodinamica della laurea “*triennale”* o nei corsi del primo anno della magistrale. Tali argomenti si riducono essenzialmente a:   * Lo schema continuo e le proprietà meccaniche distribuite nei corpi deformabili * Derivate sostanziali e teorema del trasporto * Conservazione della massa: Equazione di Continuità * Descrizioni del moto, lagrangiana ed euleriana * Definizioni cinematiche del moto di corpi * Dinamica nei corpi deformabili: forze di corpo, forze di contatto * Definizioni dinamiche (pressione, sforzo normale e tangenziale, resistenza, portanza, forza di trascinamento) * Bilancio delle quantità di moto in forma indefinita e in forma globale * Fluidi ideali: cinematica e dinamica. Equazioni di Eulero. Equazione di Bernouilli * Fluidi reali e viscosità   Pertanto, gli studenti che ritengono di avere delle lacune su tali argomenti necessari per seguire con profitto questo insegnamento sono fortemente invitati a visionare il materiale dei corsi di Idraulica e/o Fluidodinamica e ad esercitarsi su questi argomenti preliminari.  Ovviamente gli studenti che seguono questo insegnamento sono studenti già laureati e si dà quindi per scontato la loro conoscenza dei concetti e degli argomenti di base di analisi matematica e di fisica generale. |
| **Risultati di apprendimento attesi** | I risultati di apprendimento attesi sono:  **Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding):**  Lo studente alla conclusione positiva dell’insegnamento avrà dimostrato di conoscere il meccanismo comportamentale del deflusso turbolento e i limiti della conoscenza dettati dallo stato dell’arte attuale.  **Conoscenze e capacità di comprensione applicate (applying knowledge and understanding):**  Lo studente avrà acquisito la conoscenza del panorama di tecniche di calcolo numerico, e la capacità di analisi delle stesse, al momento sviluppate nelle applicazioni tecniche. Tali acquisizioni permettono al futuro laureato magistrale di affrontare i problemi ingegneristici del deflusso turbolento con padronanza di competenze attuali e di sviluppare nuove tecniche per la loro risoluzione. Alla conclusione positiva dell’insegnamento lo studente avrà inoltre presente i diversi casi applicativi e le relative tecniche risolutive in cui la conoscenza attuale è sufficientemente sviluppata e consolidata da poter affrontare già oggi sia i problemi progettuali che quelli di verifica (moto uniforme turbolento, strato limite turbolento).  **Capacità di trarre conclusioni (making judgements):**Lo studente, al termine del corso avrà acquisito la capacità di individuare i punti critici nelle analisi e nelle sintesi progettuali coinvolgenti fenomeni turbolenti.  **Abilità comunicative (communication skills):**  Lo studente avrà acquisito un linguaggio tecnico-scientifico corretto e comprensibile che permette di relazionarsi nell’ambiente professionale specifico potendo esprimere in modo chiaro e privo di ambiguità le proprie opinioni oltre che recepire le convinzioni altrui.  **Capacità di apprendere (learning skills):**  Lo studente avrà acquisito capacità di applicare le conoscenze acquisite per sviluppare o comunque recepire gli sviluppi delle tecniche di risoluzione dei problemi coinvolgenti i fenomeni turbolenti. |
| **Organizzazione dell’insegnamento** | L’insegnamento è organizzato in 9 **moduli** ognuno dei quali si compone di **lezioni preregistrate audio-video** e relative **dispense** che, insieme, costituiscono i materiali di studio disponibili in piattaforma.  Sono poi proposti, anch’essi disponibili in piattaforma, 6 **test di autovalutazione**, di tipo asincrono, di corredo ai moduli; un test per 1 o 2 moduli riguardanti la parte di programma trattata nei relativi moduli. I test di autovalutazione consentono agli studenti di accertare sia la comprensione, sia il grado di conoscenza acquisita, degli argomenti trattati nei moduli.  Viene inoltre proposto un **forum** della “classe virtuale” organizzato in più sessioni di 2 ore in cui si discutono le risposte ai test di tipo chiuso proposti in 2 sessioni precedenti di esame (5 test per sessione, in totale 10 test da discutere).  L’insegnamento di ***Dinamica dei flussi turbolenti*** prevede 9 CFU (crediti formativi). Il carico totale di studio per questo insegnamento è di circa 225 ore così suddivise in:  **circa 175** ore di **didattica erogativa** per la visualizzazione e lo studio del materiale videoregistrato (25 ore videoregistrate di teoria e di visualizzazioni dei fenomeni turbolenti);  **circa 38 ore di didattica interattiva** per la discussione nel forum  **circa 12 ore di didattica interattiva** per l’esecuzione dei test di autovalutazione.  Si consiglia di distribuire lo studio della materia uniformemente in un periodo di 12 settimane dedicandovi circa 20 ore di studio a settimana |
| **Contenuti del corso** | **Modulo 1 – DESCRIZIONE DEL MOTO DI CORPI DEFORMABILI** (Settimane 1a; Lezioni videoregistrate 1-6, 3 ore di videolezioni per un impegno-studente di 21 ore; Test di autovalutazione 1° per un impegno-studente di 2 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: Schemi tridimensionali. Complementi di cinematica. Tensore delle velocità di deformazione.  **Modulo 2 - MOTI VORTICOSI E MOTI IRROTAZIONALI** (Settimane 2 a,3 a; Lezioni videoregistrate 7-15, 4,5 ore di videolezioni per un impegno-studente di 31 ore; Test di autovalutazione 2**°** per un impegno-studente di 2 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: Vorticità; Equazione dinamica ella vorticità; Teoremi sulla vorticità. Decomposizione di Stokes di un generico campo di moto. MOTI ISOCORI; FUNZIONE DI CORRENTE. EQUAZIONE DI LAPLACE; CONDIZIONI AL CONTORNO DI NEWMANN E DI DIRICHLET. MOTI IRROTAZIONALI PIANI.  **Modulo 3 – FLUIDI VISCOSI** (Settimane 4 a,5 a; Lezioni videoregistrate 16-25, 5 ore di videolezioni per un impegno-studente di 35 ore; Test di autovalutazione 3° per un impegno-studente di 2 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: CLASSIFICAZIONE REOLOGICA DEI FLUIDI; FLUIDI STOKESIANI E FLUIDI NEWTONIANI. RICHIAMI SU RELAZIONE COSTITUTIVA PER I FLUIDI NEWTONIANI E SU EQUAZIONI DI NAVIER-STOKES. MOTI A BASSI NUMERI DI REYNOLDS; MOTO ALLA COUETTE E DI POISEUILLE. MOTI AD ALTI NUMERI DI REYNOLDS. TEORIA DELLO STRATO LIMITE. DISTACCO, SEPARAZIONE, ZONE DI RICIRCOLO E FORMAZIONE DI VORTICI.  **Modulo 4 – STABILITà IDRODINAMICA** (Settimane 6 a; Lezioni videoregistrate 26-28, 1,5 ore di videolezioni per un impegno-studente di 10,5 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: GENERALITà SULLA STABILITA’ IDRODINAMICA. TEORIA LINEARE. STABILITÀ MARGINALE.  **Modulo 5 – DINAMICA DELLA TURBOLENZA** (Settimane 7 a,8 a; Lezioni videoregistrate 29-37, 4,5 ore di videolezioni per un impegno-studente di 31,5 ore; Test di autovalutazione 4° per un impegno-studente di 2 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: CARATTERI TURBOLENTI, PREVEDIBILITÀ. IMPOSTAZIONE DI REYNOLDS; OPERATORE MEDIA E EQUAZIONI DI REYNOLDS; BILANCIO DELL’ENERGIA CINETICA; RUOLO DELLA VORTICITà; SPETTRO TRIDIMENSIONALE DELL’ENERGIA CINETICA, LEGGE DI KOLMOGOROV.  **Modulo 6 – STRATO LIMITE E MOTO UNIFORME TURBOLENTO** (Settimane 9 a; Lezioni videoregistrate 38-41, 2 ore di videolezioni per un impegno-studente di 14 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: MOTO UNIFORME TURBOLENTO; STRATO LIMITE LAMINARE E TURBOLENTO, LEGGI DI DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ NELLO STRATO LIMITE LAMINARE E TURBOLENTO.  **Modulo 7 – SIMULAZIONE NUMERICA DELLA TURBOLENZA** (Settimane 10 a; Lezioni videoregistrate 42-44, 1,5 ore di videolezioni per un impegno-studente di 10,5 ore; Test di autovalutazione 5° per un impegno-studente di 2 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: SIMULAZIONE NUMERICA DELLA TURBOLENZA, Suddivisione dei modelli, Filtraggio.  **Modulo 8 – SCHEMI MONODIMENSIONALI** (Settimane 11 a; Lezioni videoregistrate 45-46, 1 ore di videolezioni per un impegno-studente di 7 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: TEOREMA DEL TRASPORTO ED EQUAZIONI DI BILANCIO, APPLICAZIONE AI FLUSSI COMPLESSI E TURBOLENTI RAPPRESENTATI IN UNA DIMENSIONE.  **Modulo 9 – MODELLI FISICI** (Settimana 12 a; Lezioni videoregistrate 47-50, 2 ore di videolezioni per un impegno-studente di 14 ore; Test di autovalutazione 6° per un impegno-studente di 2 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: SIMILITUDINE MECCANICA E REALIZZAZIONE DI MODELLI FISICI COMPLESSI E TURBOLENTI. |
| **Materiali di studio** | · MATERIALI DIDATTICI A CURA DEL DOCENTE  Il materiale didattico presente in piattaforma è suddiviso in 9 moduli. Essi ricoprono interamente il programma e ciascuno di essi contiene dispense e videolezioni. Tale materiale contiene tutti gli elementi necessari per affrontare lo studio della materia.  Nelle dispense viene citata la bibliografia utile per approfondimenti |
| **Modalità di verifica dell’apprendimento** | L’esame consiste in una **prova scritta** della durata di 90 minuti, sia quando svolto nella sede di Roma, sia quando svolto in un polo esterno, e nella valutazione delle attività svolte durante il forum nelle **classi virtuali**.  Non è prevista una prova orale obbligatoria. Tuttavia, gli studenti che sostengono la prova scritta presso la sede di Roma, conseguendo un voto almeno pari a 18/30, possono chiedere in modo del tutto facoltativo di sostenere una prova orale. Tale prova consiste in una interrogazione sulle definizioni, proprietà, dimostrazioni di teoremi svolte a lezione e riportate sulle dispense, nonché in applicazioni dei concetti acquisiti tramite lo svolgimento di esercizi e la loro risoluzione in forma algebrica. L’esito di tale prova orale fa parte integrante della valutazione complessiva dando luogo al risultato, cioè al voto, finale.  Durante la prova scritta **NON** è consentito utilizzare dispense, appunti, testi o formulari in formato cartaceo né digitale. L’uso della calcolatrice è consentito anche se ritenuto superfluo.  L'esame scritto consiste nel rispondere a un quesito aperto cioè nello svolgimento di un tema col quale l’esaminando deve riassumere, con una formulazione propria e con un linguaggio tecnico-scientifico corretto, un argomento del programma. Preliminarmente è richiesto all’esaminando di rispondere ad alcuni quesiti, in genere cinque, a risposta multipla di cui una sola è giusta. I quesiti sono sullo stesso argomento del tema. Le risposte esatte ai quesiti permettono all’esaminando di dimostrare l’acquisizione della capacità di applicare le conoscenze apprese e comunque di individuarne i punti critici. Si richiede però all’esaminando di dedicare alle risposte dei quesiti preliminari a risposta multipla solo una parte del tempo disponibile, dedicando la contrario la restante parte del tempo disponibile allo svolgimento del tema, generalmente circa metà e metà. La valutazione del punteggio dei quesiti sul risultato finale è ripartito di conseguenza proporzionalmente all’impegno temporale, cioè 15 punti su 30 ai primi cinque quesiti e i restanti al quesito aperto.  Inoltre la valutazione delle attività nel forum è effettuata in itinere, cioè durante la durata del forum stesso. Essa consiste, se positiva, nell’aggiunta di punti al voto finale della prova scritta espresso in trentesimi di punti. L’aggiunta di punti può variare da 0 fino a un massimo di 5.  I risultati di apprendimento attesi circa le conoscenze della materia, la capacità di applicarle, la capacità di esprimersi con un linguaggio tecnico-scientifico corretto, e quindi relazionarsi, sono valutate dalla prova scritta riguardante il tema. I risultati di apprendimento attesi circa le conoscenze della materia, la capacità di applicarle nonché la capacità di trarre conclusioni e la capacità di applicare le conoscenze acquisite sono valutate dalle risposte ai quesiti in forma chiusa della prova scritta. Mentre le abilità comunicative, la capacità di trarre conclusioni e la capacità di autoapprendimento sono valutate in itinere attraverso le attività del forum. |
| **Criteri per l’assegnazione dell’elaborato finale** | L’assegnazione dell’**elaborato finale** avverrà sulla base di un colloquio con il docente in cui lo studente manifesterà i propri specifici **interessi** in relazione a qualche argomento che intende approfondire; non esistono **preclusioni** alla richiesta di assegnazione della tesi e non è prevista una **media particolare** per poterla richiedere. |