

|  |  |
| --- | --- |
| **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  Corso di studi: 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 ed effetti del fenomeno turbolento. Ciononostante lo stato dell’arte sull’argomento permette di affrontare molti problemi tecnici con buona affidabilità delle proposte risolutive nei limiti dei loro 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** **dei fluidi** 2. Illustrare i concetti e le metodologie relativamente alla **stabilità idrodinamica**, quale 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 |
| **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 (differenziale) e in forma globale (integrale) * 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 saper illustrare il meccanismo comportamentale del deflusso turbolento e di saper descrivere lo stato dell’arte attuale sul tema e le valutazioni sui suoi limiti.  **Applicazione delle conoscenze (applying knowledge and understanding):**  Lo studente saprà descrivere il panorama di tecniche di calcolo numerico, le analisi e le valutazioni delle stesse al momento sviluppate nelle applicazioni tecniche ai fini determinarne i limiti e i campi di applicabilità. L’acquisizione di tali argomenti permette 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 dimostrato di avere presente i diversi casi applicativi e le relative tecniche risolutive in cui la esperienza 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 saprà descrivere e 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 **moduli** ognuno dei quali si compone di **lezioni preregistrate audio-video** e relative **dispense** che, insieme, costituiscono i materiali di studio per sostenere l’esame disponibili in piattaforma. Ogni lezione è di circa mezz’ora per un totale di circa 13 ore di videoregistrazioni.  Sono poi proposti, anch’essi disponibili in piattaforma, alcuni **moduli complementari** che costituiscono ampliamenti o richiami introduttivi ai contenuti dell’insegnamento. Le lezioni dei moduli opzionali sono in totale 28 cioè circa 12 ore di videoregistrazioni Gli argomenti dei moduli opzionali non fanno parte del programma di esame dell’insegnamento ma sono di supporto allo studente per richiamare nozioni, approfondire o estendere temi utili per la comprensione e l’apprendimento dei contenuti dell’insegnamento.  Sono inoltre offerti, anch’essi in piattaforma, 8 **test di autovalutazione**, di tipo asincrono, di corredo ai moduli. I test di autovalutazione consentono agli studenti di accertare sia la comprensione, sia il grado di conoscenza acquisita, degli argomenti studiati.  Viene infine proposto un **forum** della “classe virtuale” organizzato in più sessioni di 2 ore in cui si discutono le risposte ai quiz di tipo chiuso proposti in due sessioni precedenti di esame (5 quiz per sessione, in totale 10 quiz 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 133** ore di **didattica erogativa** per la **visualizzazione e lo studio** del materiale videoregistrato (13,3 ore videoregistrate di teoria e di visualizzazioni dei fenomeni turbolenti);  **circa 42** ore di **didattica erogativa** per la sola **visualizzazione** dei moduli complementari(11,7 ore videoregistrate di teoria e di visualizzazioni dei fenomeni turbolenti);  **circa 30 ore di didattica interattiva** per la discussione nel forum  **circa 20 ore di didattica interattiva** per l’esecuzione dei test di autovalutazione e la comprensione dei risultati.  Si consiglia di distribuire lo studio della materia uniformemente in un periodo di 10 settimane dedicandovi circa 22 ore di studio a settimana |
| **Contenuti del corso** | ***Modulo complementare* *1* – DESCRIZIONE DEL MOTO DI CORPI DEFORMABILI** (Settimane 1a; Lezioni videoregistrate 1-5, circa 2.1 ore di videolezioni per un impegno-studente di 7,5 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: RICHIAMI DI ANALISI TENSORIALE, Schemi tridimensionali. Complementi di cinematica. Tensore delle velocità di deformazione.  **Modulo 1 - MOTI VORTICOSI** (Settimane 1a; Lezioni videoregistrate 6-9, 2 ore di videolezioni per un impegno-studente di 20 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: VARIAZIONI SPAZIALI DELLA VELOCITA’; Vorticità; dinamica Della vorticità; CARATTERISTICHE COMPORTAMENTALI (Teoremi) DElla vorticità.  ***Modulo complementare* *2 – MOTI IRROTAZIONALI*** (Settimane 2a; Lezioni videoregistrate 10-15, 2.5 ore di videolezioni per un impegno-studente di 9 ore; Test di autovalutazione 1**°** per un impegno-studente di 5 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: MOTI IRROTAZIONALI ISOCORI; FUNZIONE DI CORRENTE. EQUAZIONE DI LAPLACE; CONDIZIONI AL CONTORNO DI NEWMANN E DI DIRICHLET. MOTI IRROTAZIONALI PIANI.  ***Modulo complementare* *3 – FLUIDI VISCOSI*** (Settimane 2a; Lezioni videoregistrate 16-25, 4.2 ore di videolezioni per un impegno-studente di 15 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 2 – STABILITà IDRODINAMICA** (Settimane 3a; Lezioni videoregistrate 26-29, 2 ore di videolezioni per un impegno-studente di 20 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: GENERALITà SULLA STABILITA’ IDRODINAMICA. TEORIA LINEARE. STABILITÀ MARGINALE.  **Modulo 3 – DINAMICA DELLA TURBOLENZA** (Settimane 4a; Lezioni videoregistrate 30-33, 2 ore di videolezioni per un impegno-studente di 20 ore;). Gli argomenti trattati nel modulo sono: CARATTERI TURBOLENTI, PREVEDIBILITÀ. IMPOSTAZIONE DI REYNOLDS; OPERATORE MEDIA E EQUAZIONI DI REYNOLDS.  **Modulo 4 – BILANCI ENERGETICI** (Settimane 5a; Lezioni videoregistrate 34-37, 2 ore di videolezioni per un impegno-studente di 20 ore;). Gli argomenti trattati nel modulo sono: BILANCIO DELL’ENERGIA CINETICA; RUOLO DELLA VORTICITà; SPETTRO TRIDIMENSIONALE DELL’ENERGIA CINETICA, LEGGE DI KOLMOGOROV.  **Modulo 5 – MOTO UNIFORME TURBOLENTO** (Settimane 6a; Lezioni videoregistrate 38-39, 1 ore di videolezioni per un impegno-studente di 10 ore; Test di autovalutazione 2° per un impegno-studente di 5 ore; attività nel forum 6 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 6 – STRATO LIMITE TURBOLENTO** (Settimane 7a; Lezioni videoregistrate 40-41, 1 ore di videolezioni per un impegno-studente di 10 ore; Test di autovalutazione 3° per un impegno-studente di 5 ore; attività nel forum 6 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 8a; Lezioni videoregistrate 42-44, 1,5 ore di videolezioni per un impegno-studente di 15 ore; attività nel forum 6 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: SIMULAZIONE NUMERICA DELLA TURBOLENZA, Suddivisione dei modelli, Filtraggio.  ***Modulo complementare* *4* – SCHEMI MONODIMENSIONALI E MODELLI FISICI** (Settimane 9a; Lezioni videoregistrate 45-50 e videolezione 51 per un totale di 2.9 ore di registrazioni per un impegno-studente di 10,5 ore; Test di autovalutazione 4° per un impegno-studente di 5 ore; attività nel forum 6 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: TEOREMA DEL TRASPORTO ED EQUAZIONI DI BILANCIO, APPLICAZIONE AI FLUSSI COMPLESSI E TURBOLENTI RAPPRESENTATI IN UNA DIMENSIONE. SIMILITUDINE MECCANICA E REALIZZAZIONE DI MODELLI FISICI COMPLESSI E TURBOLENTI.  **Modulo 8 – CAOS DETERMINISTICO** (Settimana 10 a; 2 Videoconferenze registrate, 52 e 53, pari a 1,8 ore di videolezioni per un impegno-studente di 18 ore; attività nel forum 6 ore). Gli argomenti trattati nel modulo sono: ATTRATTORE DI LORENTZ; SISTEMI DI EQUAZIONI DIFFERENZIALI LINEARI E NON; ATTRATTORI STRANI; ESPONENTI DI LIAPUNOV; CAOS E PREVEDIBILITA’. |
| **Materiali di studio** | · MATERIALI DIDATTICI A CURA DEL DOCENTE  Il materiale didattico presente in piattaforma è suddiviso in 8 moduli e in altri 4 moduli complementari. 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**. Nella sede di Roma l’esaminando può richiedere di rispondere in forma colloquiale.  Durante la prova **NON** è consentito utilizzare dispense, appunti, testi o formulari in formato cartaceo né digitale. L’uso della calcolatrice è consentito anche se ritenuto superfluo.  La prova scritta 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, di norma cinque, a risposta multipla di cui una sola è giusta. I quesiti in genere 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 all’esaminando di dedicare alle risposte dei quesiti preliminari a risposta multipla solo una parte del tempo disponibile, dedicando al 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. |