



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2020/2021
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2020/2021
CORSO DILAUREA MAGISTRALE	INGEGNERIA CHIMICA
INSEGNAMENTO	MODELS FOR THERMOFLUID DYNAMICS
TIPO DI ATTIVITA'	C
AMBITO	20911-Attività formative affini o integrative
CODICE INSEGNAMENTO	18583
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-IND/19
DOCENTE RESPONSABILE	CIOFALO MICHELE Professore a contratto in Univ. di PALERMO quiescenza
ALTRI DOCENTI	
CFU	6
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	92
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA	58
PROPEDEUTICITA'	
MUTUAZIONI	
ANNO DI CORSO	1
PERIODO DELLE LEZIONI	1° semestre
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	CIOFALO MICHELE Martedì 15:00 16:00 Stanza 111 edificio 6 Giovedì 15:00 16:00 Stanza 111 edificio 6

PREREQUISITI	Nessuno obbligatorio. E' raccomandabile aver seguito corsi di Termodinamica, Fisica Tecnica, Principi di Ingegneria Chimica, Termoidraulica, Metodi Numerici, oltre ovviamente ai corsi di base di Calcolo e Fisica.
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	Conoscenza e capacita' di comprensione Lo studente, al termine del corso, avra' maturato un opportuno livello di conoscenza e di comprensione sui seguenti argomenti: PARTE I – DIFFUSIONE Derivazione dell'equazione del calore 1D, 2D e 3D in regime stazionario e transitorio; condizioni al contorno e numero di Biot; soluzioni analitiche per geometrie semplici (slab, cilindro, sfera); autofunzioni, autovalori e costanti di tempo. Estensione al caso della diffusione di altre grandezze scalari. PARTE II - MOTO DEI FLUIDI E CONVEZIONE Equazioni di continuita' e Navier-Stokes in regime stazionario e transitorio; sforzi viscosi; ipotesi di Boussinesq; fluidi newtoniani e non newtoniani. Equazione dell'energia; flussi convettivi. Trasporto di altre grandezze scalari. Convezione naturale e approssimazione di Boussinesq per la "buoyancy". Convezione mista. Condizioni al contorno e requisiti perche' un problema fluidodinamico sia ben posto. Soluzioni analitiche per casi semplici. Metodo vorticit�-funzione di corrente. PARTE III - TURBOLENZA Fenomenologia della turbolenza nei fluidi e sua interpretazione nell'ambito della teoria dei sistemi dinamici; concetto di cascata di energia e scale dissipative di Kolmogorov. Simulazione diretta: requisiti di risoluzione spaziale e temporale e stima del relativo onere computazionale. Modelli RANS: derivazione formale degli sforzi e flussi turbolenti. Modelli a viscosita' turbolenta: ipotesi di diffusione per gradiente (Boussinesq) e analogia fra gli sforzi e flussi turbolenti (o di Reynolds) e gli sforzi e flussi diffusivi (molecolari). Modelli algebrici semplici. Modelli differenziali, con particolare riguardo ai modelli k-epsilon e k-omega. Condizioni al contorno, funzioni di parete e varianti "a basso numero di Reynolds". Modelli di ordine superiore (RSM, ASM). Large-Eddy Simulation e metodi ibridi. Turbolenza in convezione naturale; fluidodinamica della bassa atmosfera e fenomeni di dispersione. Turbolenza transitoria. Transizione alla turbolenza (con esempi). PARTE IV - FENOMENI TERMOFLUIDODINAMICI SPECIALI Moti polifasici, con particolare riferimento a solidi sospesi. Magnetoidrodinamica. La valutazione avverra' tramite opportuni quesiti proposti in sede di prova orale. Capacita' di applicare conoscenza e comprensione Lo studente acquistera' la capacita' di analizzare problemi di termofluidodinamica, sia fondamentali che di diretto interesse industriale. In particolare, lo studente sapra': • Identificare la natura del problema (diffusivo, convettivo o ibrido; stazionario o transitorio; laminare o turbolento). • Identificare la dimensionalita' del problema (0-D, 1-D, 2-D, 3-D) e la possibilita' di ridurla sfruttando simmetrie spaziali o formulando accettabili ipotesi semplificative. • Identificare le corrette condizioni al contorno (ed eventualmente iniziali) corrispondenti alla formulazione del problema. La valutazione avverra' tramite opportuni quesiti proposti in sede di prova orale. Autonomia di giudizio Lo studente, al termine del corso, avra' maturato autonomia di giudizio in relazione a: • Adeguatezza di un dato modello per la descrizione di un assegnato problema di termofluidodinamica. • Correttezza di una data soluzione proposta per un assegnato problema di termofluidodinamica. La valutazione avverra' tramite opportuni quesiti proposti in sede di prova orale. Abilita' comunicative Lo studente, al termine del corso, avra' maturato un opportuno livello di familiarita' con il linguaggio tecnico-scientifico impiegato nell'ambito della termofluidodinamica, e avra' quindi la capacita' di interagire utilmente con professionisti e/o ricercatori del settore. La valutazione avverra' durante il corso dell'insegnamento e sara' consolidata da opportuni quesiti proposti in sede di prova orale.

	Capacita' d'apprendimento Lo studente sviluppera' la capacita' di studiare autonomamente testi, articoli scientifici e rapporti tecnici inerenti la termofluidodinamica, traendone informazioni utili e giudicandone la qualita' e la pertinenza rispetto a un dato problema assegnato. La valutazione avverra' durante il corso dell'insegnamento e sara' consolidata da opportuni quesiti proposti in sede di prova orale.
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	L'esame prevede la prova orale, valutata in trentesimi. Il voto minimo per superare la prova e' 18/30. La prova ha una durata media di 30 minuti e consiste in un colloquio, articolato in almeno tre domande a risposta aperta inerenti l'intero programma del corso. Essa e' finalizzata ad accertare: •il grado di conoscenza, comprensione e padronanza dei contenuti del corso (40% della valutazione finale); •la capacita' di applicare con autonomia di giudizio e rigore metodologico le conoscenze e competenze acquisite all'analisi ed alla soluzione di problematiche tipiche della disciplina (40% della valutazione finale); •la proprieta' di linguaggio e la chiarezza espositiva (10% della valutazione finale); •le capacita' di rielaborare criticamente i concetti acquisiti, collocandoli nella opportuna connessione logica con le varie tematiche affrontate nel corso ed in quelli ad esso affini (10% della valutazione finale). Metrica di valutazione 30 - 30 e lode (ottimo): ottima conoscenza e padronanza dei contenuti del corso, piena proprieta' di linguaggio e chiarezza espositiva, capacita' di applicare con autonomia di giudizio e rigore metodologico le competenze acquisite. 27 - 29 (distinto): piena conoscenza dei contenuti del corso, buona proprieta' di linguaggio e chiarezza espositiva, capacita' di applicare in modo adeguato le competenze acquisite. 24 - 26 (buono): buona conoscenza dei contenuti del corso illustrata con proprieta' di linguaggio, limitata capacita' di applicare in modo autonomo le competenze acquisite. 21 - 23 (soddisfacente): soddisfacente conoscenza dei principali contenuti del corso illustrata con linguaggio tecnico accettabile, modesta autonomia nell'applicazione delle competenze acquisite. 18 - 20 (sufficiente): conoscenza minimale dei contenuti essenziali del corso e del pertinente linguaggio tecnico, minima autonomia nell'applicazione delle competenze acquisite.
OBIETTIVI FORMATIVI	Il corso mira ad impartire adeguate conoscenze sulla modellazione di problemi di termofluidodinamica, propedeutica alla loro risoluzione con metodi analitici o numerici. Dopo opportuni richiami sui principi elementari del moto dei fluidi, dello scambio di calore o di massa e dell'analisi numerica, gia' appresi dallo studente in precedenti corsi sia di 1° che di 2° livello, nelle prime parti del corso si illustrera' la derivazione rigorosa delle equazioni che governano il trasporto diffusivo e convettivo ed il moto dei fluidi. Successivamente si trattera' il problema della turbolenza, illustrandone sia gli aspetti fisici e fenomenologici che gli aspetti matematici e i diversi metodi di modellazione (simulazione diretta, modelli RANS, Large-Eddy Simulation e metodi ibridi). Un certo spazio sara' dato ad argomenti solitamente poco trattati nei corsi universitari di fluidodinamica ma di notevole interesse potenziale, quali la magnetoidrodinamica e la turbolenza transitoria. Attraverso esercitazioni, condotte in parte con l'ausilio di codici di calcolo, si illustreranno numerosi problemi di modellazione di fenomeni termofluidodinamici.
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	L'attivita' didattica e' organizzata in lezioni frontali ed esercitazioni di tipo computazionale, svolte in parte col supporto di codici di calcolo.
TESTI CONSIGLIATI	- G. Comini, G. Croce, E. Nobile (eds), Fondamenti di Termofluidodinamica Computazionale, UIT & SGEEditoriali, Padova, 4a ed., 2012. - H. K. Versteeg, W. Malalasekera, An Introduction to Computational Fluid Dynamics - The Finite Volume Method, Longman. - Dispense del corso fornite dal docente (lecture notes provided by the lecturer).

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
6	Richiami: notazione vettoriale e tensoriale e principali concetti e teoremi del calcolo vettoriale (gradiente, rotore e divergenza, teorema di Gauss). Equazioni costitutive applicabili ai mezzi diffusivi e ai fluidi (leggi di Fick e di Fourier, equazioni di stato, comprimibilita' e dilatabilita'). Principali proprieta' termofisiche e di trasporto dei solidi e dei fluidi (densita, calore specifico, conducibilita' termica, viscosita' e diffusivita' dinamiche e cinematiche). Principali numeri adimensionali utilizzati in termofluidodinamica (Reynolds, Prandtl, Nusselt, Schmidt, Sherwood, Grashof, Rayleigh, Richardson, fattori di attrito) e loro significato fisico.

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
6	Diffusione: derivazione dell'equazione del calore 1D, 2D e 3D in regime stazionario e transitorio; condizioni al contorno e numero di Biot; soluzioni analitiche per geometrie semplici (slab, cilindro, sfera); autofunzioni, autovalori e costanti di tempo. Estensione al caso della diffusione di altre grandezze scalari.
6	Moto dei fluidi e convezione: equazioni di continuit� e Navier-Stokes in regime stazionario e transitorio; sforzi viscosi; ipotesi di Boussinesq; fluidi newtoniani e non newtoniani. Equazione dell'energia; flussi convettivi. Trasporto di altre grandezze scalari. Convezione naturale e approssimazione di Boussinesq per la "buoyancy". Convezione mista. Condizioni al contorno e requisiti perche' un problema fluidodinamico sia ben posto. Soluzioni analitiche per casi semplici. Metodo vorticit�-funzione di corrente.
12	Turbolenza: fenomenologia della turbolenza nei fluidi e sua interpretazione nell'ambito della teoria dei sistemi dinamici; concetto di cascata di energia e scale dissipative di Kolmogorov. Simulazione diretta: requisiti di risoluzione spaziale e temporale e stima del relativo onere computazionale. Modelli RANS: derivazione formale degli sforzi e flussi turbolenti. Modelli a viscosit� turbolenta: ipotesi di diffusione per gradiente (Boussinesq) e analogia fra gli sforzi e flussi turbolenti (o di Reynolds) e gli sforzi e flussi diffusivi (molecolari). Modelli algebrici semplici. Modelli differenziali, con particolare riguardo ai modelli k-epsilon e k-omega. Condizioni al contorno, funzioni di parete e varianti "a basso numero di Reynolds". Modelli di ordine superiore (RSM, ASM). Large-Eddy Simulation e metodi ibridi. Turbolenza in convezione naturale; fluidodinamica della bassa atmosfera e fenomeni di dispersione. Turbolenza transitoria. Transizione alla turbolenza (con esempi).
6	Fenomeni termofluidodinamici speciali: moti polifasici, con particolare riferimento a solidi sospesi. Magnetoidrodinamica.
ORE	Esercitazioni
3	Esercitazione su grandezze, unit� di misura e numeri adimensionali
3	Soluzione per serie di problemi di diffusione transitoria in geometrie 1-D.
3	Soluzioni analitiche per il moto e lo scambio termico in canali piani e condotti circolari.
3	Calcolo delle scale di Kolmogorov e dei requisiti di risoluzione per la simulazione numerica diretta della turbolenza in geometrie semplici.
3	Influenza del modello di turbolenza sulla soluzione (con codici CFD).
3	Influenza delle condizioni al contorno sulla soluzione (con codici CFD).