



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

<b>DIPARTIMENTO</b>	Ingegneria		
<b>ANNO ACCADEMICO OFFERTA</b>	2020/2021		
<b>ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE</b>	2022/2023		
<b>CORSO DILAUREA</b>	INGEGNERIA DELL'ENERGIA E DELLE FONTI RINNOVABILI		
<b>INSEGNAMENTO</b>	TERMOIDRAULICA		
<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	B		
<b>AMBITO</b>	50304-Ingegneria nucleare		
<b>CODICE INSEGNAMENTO</b>	07544		
<b>SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI</b>	ING-IND/19		
<b>DOCENTE RESPONSABILE</b>	DI MAIO PIETRO ALESSANDRO	Professore Ordinario	Univ. di PALERMO
<b>ALTRI DOCENTI</b>			
<b>CFU</b>	9		
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	144		
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA</b>	81		
<b>PROPEDEUTICITA'</b>			
<b>MUTUAZIONI</b>			
<b>ANNO DI CORSO</b>	3		
<b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>	1° semestre		
<b>MODALITA' DI FREQUENZA</b>	Facoltativa		
<b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>	Voto in trentesimi		
<b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>	<b>DI MAIO PIETRO ALESSANDRO</b> Lunedì 10:00 11:00 Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici - Edificio 6 - I Piano - Stanza 115 Mercoledì 10:00 11:00 Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici - Edificio 6 - I Piano - Stanza 115 Venerdì 10:00 11:00 Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici - Edificio 6 - I Piano - Stanza 115		

<p><b>PREREQUISITI</b></p>	<p>Conoscenze dei fondamenti di:                      - calcolo differenziale ed integrale                      - fisica classica                      - fisica tecnica</p>
<p><b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b></p>	<p><b>CONOSCENZA E CAPACITA' DI COMPrensIONE</b>                      Lo studente, al termine del corso, avra' maturato un opportuno livello di conoscenza e di comprensione sui seguenti argomenti:</p> <p><b>Parte I – Conduzione del Calore</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Derivazione dell'equazione differenziale della conduzione del calore a partire dal primo principio della termodinamica e dalla legge fenomenologica di Fourier. Estensione al caso della diffusione; legge di Fick.</li> <li>• Proprieta' termodiffusive dei solidi e dei fluidi. Densita, conducibilita, calori specifici, diffusivita' termica. Cenni sulla diffusione anisotropa.</li> <li>• Classificazione delle condizioni termiche al contorno (Dirichlet, Neumann, Cauchy). Condizioni convettive.</li> <li>• Applicazione a problemi stazionari 1-D, anche in presenza di generazione interna di calore, nelle geometrie fondamentali (slab, cilindro, sfera). Cenni sui problemi stazionari in piu' dimensioni. Analogia elettrica e concetti di resistenza e conduttanza termica. Resistenze termiche in serie e in parallelo.</li> <li>• Applicazione a problemi transitori 1-D nelle geometrie fondamentali (slab, cilindro, sfera) e uso delle soluzioni adimensionali. Numeri di Biot e di Fourier. Costanti di tempo.</li> <li>• Trattazione a parametri concentrati di problemi di riscaldamento e raffreddamento.</li> <li>• Semplici problemi di scambio termico coniugato. Alettature. Spessore critico di isolamento.</li> </ul> <p><b>Parte II – Termoidraulica Monofase</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Derivazione delle equazioni differenziali di governo per problemi convettivi (continuita, Navier-Stokes, energia). Fluidi newtoniani. Fluidi comprimibili e dilatabili.</li> <li>• Proprieta' termofisiche e di trasporto dei fluidi; numeri di Reynolds e di Prandtl. Equazioni di stato.</li> <li>• Cadute di pressione distribuite e concentrate per fluidi a proprieta' costanti nell'approssimazione 1-D. Fattori di attrito, abaco di Moody, regimi di moto laminare e turbolento e criteri di transizione. Diametro idraulico.</li> <li>• Equazione di Bernouilli e sue applicazioni.</li> <li>• Scambio termico in fluidi a proprieta' costanti nell'approssimazione 1-D. Definizioni di temperatura di mescolamento, flusso termico di parete, coefficiente di scambio termico. Numero di Nusselt e correlazioni di scambio termico.</li> </ul> <p><b>Parte III – Termoidraulica Bifase</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generalita' e classificazione dei vari regimi polifasici (solido-liquido, solido-gas, gas-liquido, liquido-liquido). Equilibrio meccanico e termodinamico.</li> <li>• Moto bifase gas-liquido: concetti di titolo e frazione di vuoto. Rapporto di scorrimento. Relazione fra le principali grandezze. Modelli omogenei e non omogenei.</li> <li>• Regimi di moto bifase gas-liquido in condotti orizzontali, inclinati, verticali. Equazioni monodimensionali che governano il moto di miscele gas-liquido (continuita, quantita' di moto, energia).</li> <li>• Cadute di pressione per variazione di quota, espansione, attrito. Moltiplicatori di attrito bifase e loro applicazione.</li> <li>• Vaporizzazione. Distinzione tra evaporazione, ebollizione sottoraffreddata, ebollizione satura. Scambio termico in fluidi bollenti. Modalita' di scambio (ebollizione nucleata, ebollizione per film parziale, ebollizione per film). Crisi termica e curva di Nukiyama. Correlazioni di scambio termico in ebollizione.</li> <li>• Caratteristica portata-caduta di pressione in tubi bollenti scaldati. Instabilita' di Ledinneg. Influenza dell'inclinazione e del verso del moto.</li> </ul> <p>La valutazione avverra' tramite prova orale.</p> <p><b>CAPACITA' DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE</b>                      Lo studente acquistera' la capacita' di analizzare e, ove possibile, risolvere con metodi semplici problemi di trasporto del calore e moto dei fluidi. In particolare, lo studente sapra':</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificare la natura del problema (conduttivo, convettivo o misto; stazionario o transitorio; laminare o turbolento).</li> <li>• 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.</li> <li>• Identificare le corrette condizioni al contorno (ed eventualmente iniziali) corrispondenti alla formulazione del problema.</li> <li>• Scegliere le equazioni e le correlazioni piu' opportune per il calcolo di soluzioni,</li> </ul>

	<p>esatte o approssimate, del problema.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Calcolare tali soluzioni approssimate o stilare con completezza un algoritmo in grado di calcolarle.</li> </ul> <p>La valutazione avverrà tramite prova orale.</p> <p><b>AUTONOMIA DI GIUDIZIO</b> Lo studente, al termine del corso, avrà maturato autonomia di giudizio in relazione a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Applicabilità di una data correlazione, di una data ipotesi semplificativa o di una data equazione ad un assegnato problema di termoidraulica.</li> <li>•Correttezza di un'ipotetica soluzione proposta per un assegnato problema di termoidraulica.</li> </ul> <p>La valutazione avverrà tramite prova orale.</p> <p><b>ABILITA' COMUNICATIVE</b> Lo studente, al termine del corso, avrà maturato un opportuno livello di familiarità con il linguaggio tecnico impiegato nell'ambito della termoidraulica, e avrà quindi la capacità di interagire utilmente con professionisti e/o ricercatori del settore.</p> <p>La valutazione avverrà tramite prova orale.</p> <p><b>CAPACITA' DI APPRENDIMENTO</b> Lo studente svilupperà la capacità di studiare autonomamente testi, articoli e rapporti tecnici inerenti la termoidraulica traendone informazioni utili e giudicandone la qualità e la pertinenza rispetto a un dato problema assegnato.</p> <p>La valutazione avverrà tramite prova orale.</p>
<b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>	<p>L'esame prevede la prova orale, valutata in trentesimi. Il voto minimo per superare la prova è 18/30. La prova ha una durata di 40+50 minuti e consiste in un colloquio, articolato in almeno tre domande a risposta aperta inerenti l'intero programma del corso.</p> <p>Essa è finalizzata ad accertare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- il grado di conoscenza, comprensione e padronanza dei contenuti del corso (50% della valutazione finale);</li> <li>- la capacità di applicare con autonomia di giudizio e rigore metodologico le conoscenze e competenze acquisite all'analisi ed alla soluzione di problematiche tipiche della disciplina (30% della valutazione finale);</li> <li>- la proprietà di linguaggio e la chiarezza espositiva (10% della valutazione finale);</li> <li>- le capacità 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).</li> </ul> <p><b>METRICA DI VALUTAZIONE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 30 - 30 e lode (ottimo): ottima conoscenza e padronanza dei contenuti del corso illustrata con piena proprietà di linguaggio e chiarezza espositiva, spiccata attitudine ad applicare con autonomia di giudizio e rigore metodologico le competenze acquisite rielaborandole criticamente.</li> <li>- 27 - 29 (distinto): piena conoscenza dei contenuti del corso illustrata con proprietà di linguaggio e chiarezza espositiva, capacità di applicare con buona autonomia di giudizio e rigore metodologico le competenze acquisite.</li> <li>- 24 - 26 (buono): buona conoscenza dei contenuti del corso illustrata con proprietà di linguaggio, modesta capacità di applicare con una discreta autonomia le competenze acquisite.</li> <li>- 22 - 24 (soddisfacente): soddisfacente conoscenza dei principali contenuti del corso illustrata con linguaggio tecnico accettabile, scarsa autonomia nell'applicazione delle competenze acquisite.</li> <li>- 18 - 21 (sufficiente): conoscenza minimale dei contenuti essenziali del corso e del pertinente linguaggio tecnico, scarsa o nulla autonomia di applicazione delle competenze acquisite.</li> </ul>
<b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>	<p>Il corso mira ad impartire adeguate conoscenze sui fenomeni di trasporto convettivo-diffusivo di massa, quantità di moto ed energia e sulle pertinenti equazioni di governo in formulazione integrale e/o differenziale.</p> <p>La prima parte del corso sarà dedicata a problemi di conduzione del calore sia stazionaria che transitoria, inclusi problemi coniugati conduzione-convezione e problemi riguardanti corpi con generazione interna di calore. Si farà particolare riferimento a geometrie semplici monodimensionali rilevanti in campi quali la termotecnica industriale, l'ingegneria nucleare e la termofisica dell'edificio.</p> <p>La parte centrale del corso sarà dedicata a problemi di meccanica dei fluidi e di trasporto convettivo. Si darà particolare risalto al calcolo di perdite di carico in condotti, alle applicazioni dell'equazione di Bernoulli per fluidi a densità costante e all'applicazione corretta di correlazioni di scambio termico, attraverso</p>

	<p>l'utilizzo di numeri adimensionali.</p> <p>Infine, la terza parte del corso sarà dedicata a modelli semplici monodimensionali del flusso di miscele bifase, con particolare riferimento a miscele liquido-gas, e allo scambio termico in ebollizione.</p> <p>Attraverso le esercitazioni, si applicheranno i concetti studiati all'effettiva risoluzione esatta o approssimata di un ampio insieme di problemi di termoidraulica in geometrie semplici.</p>
<b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b>	L'attività didattica è organizzata in lezioni frontali ed esercitazioni di tipo numerico, prevalentemente svolte con il supporto di software di calcolo matematico.
<b>TESTI CONSIGLIATI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- J. R. Welty, C. E. Wicks, R. E. Wilson, J. L. Rorrer, Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer, John Wiley &amp; Sons Inc; 5a edizione.</li> <li>- F. P. Incropera, D. P. DeWitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley &amp; Sons (varie edizioni).</li> <li>- H. S. Carslaw and J. C. Jaeger, Conduction Of Heat In Solids, Oxford University Press, U.S.A.; 2a edizione.</li> <li>- Materiali ausiliari (tabelle, grafici, dispense) forniti dal docente.</li> </ul>

### PROGRAMMA

ORE	Lezioni
2	Derivazione dell'equazione differenziale della conduzione del calore a partire dal primo principio della termodinamica e dalla legge fenomenologica di Fourier. Estensione al caso della diffusione; legge di Fick.
2	Proprietà termodiffusive dei solidi e dei fluidi. Densità, conducibilità, calori specifici, diffusività termica. Cenni sulla diffusione anisotropa.
2	Classificazione delle condizioni termiche al contorno (Dirichlet, Neumann, Cauchy). Condizioni convettive.
4	Applicazione a problemi stazionari 1-D, anche in presenza di generazione interna di calore, nelle geometrie fondamentali (slab, cilindro, sfera). Cenni sui problemi stazionari in più dimensioni. Analogia elettrica e concetti di resistenza e conduttanza termica. Resistenze termiche in serie e in parallelo.
4	Applicazione a problemi transitori 1-D nelle geometrie fondamentali (slab, cilindro, sfera) e uso delle soluzioni adimensionali. Numeri di Biot e di Fourier. Autofunzioni, autovalori e costanti di tempo.
2	Trattazione a parametri concentrati di problemi di riscaldamento e raffreddamento.
4	Semplici problemi di scambio termico coniugato: alettature, spessore critico di isolamento.
4	Derivazione delle equazioni differenziali di governo per problemi convettivi (continuità, Navier-Stokes, energia). Fluidi newtoniani. Fluidi comprimibili e dilatabili.
4	Proprietà termofisiche e di trasporto dei fluidi; numeri di Reynolds e di Prandtl. Equazioni di stato.
4	Cadute di pressione distribuite e concentrate per fluidi a proprietà costanti nell'approssimazione 1-D. Fattori di attrito, abaco di Moody, regimi di moto laminare e turbolento e criteri di transizione. Diametro idraulico.
4	Equazione di Bernoulli per fluidi a densità costante e sue applicazioni.
4	Scambio termico in fluidi a proprietà costanti. Bilanci termici nell'approssimazione 1-D. Definizioni di temperatura di mescolamento, flusso termico di parete, coefficiente di scambio termico. Numero di Nusselt e correlazioni di scambio termico.
2	Generalità e classificazione dei vari regimi polifasici (solido-liquido, solido-gas, gas-liquido, liquido-liquido). Equilibrio meccanico e termodinamico.
4	Moto bifase gas-liquido: concetti di titolo e frazione di vuoto. Rapporto di scorrimento. Relazione fra le principali grandezze. Modelli omogenei e non omogenei.
2	Regimi di moto bifase gas-liquido in condotti orizzontali, inclinati, verticali. Equazioni monodimensionali che governano il moto di miscele gas-liquido (continuità, quantità di moto, energia).
2	Cadute di pressione per variazione di quota, espansione, attrito. Moltiplicatori di attrito bifase e loro applicazione.
2	Vaporizzazione. Distinzione tra evaporazione, ebollizione sottoraffreddata, ebollizione saturata. Distinzione fra "pool boiling" e "flow boiling". Scambio termico in fluidi bollenti. Modalità di scambio (ebollizione nucleata, ebollizione per film parziale, ebollizione per film). Crisi termica e curva di Nukiyama. Correlazioni di scambio termico in ebollizione. Cenni sulla condensazione.
2	Caratteristica portata-caduta di pressione in tubi bollenti scaldati. Instabilità di Ledinegg. Influenza dell'inclinazione e del verso del moto.

ORE	Esercitazioni
3	Conduzione stazionaria in geometria 1-D slab. Analogia elettrica.
3	Conduzione stazionaria in geometria 1-D cilindrica senza generazione interna di potenza. Tubo e manicotto.
3	Conduzione stazionaria in geometria 1-D cilindrica con generazione interna di potenza. Barre di combustibile nucleare, conducibilità variabile con T.
3	Conduzione transitoria in geometrie 1-D.
3	Problemi coniugati (alettature).
3	Cadute di pressione in condotti. Applicazioni delle correlazioni più comuni e dell'abaco di Moody.
3	Applicazioni dell'equazione di Bernoulli per fluidi a densità costante.

<b>ORE</b>	<b>Esercitazioni</b>
3	Scambio termico convettivo in condotti. Applicazioni delle correlazioni adimensionali. Calcoli per temperatura di parete imposta e per flusso imposto.
3	Calcoli di caduta di pressione e scambio termico in regime bifase gas-liquido.