



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

<b>DIPARTIMENTO</b>	Ingegneria		
<b>ANNO ACCADEMICO OFFERTA</b>	2023/2024		
<b>ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE</b>	2023/2024		
<b>CORSO DILAUREA MAGISTRALE</b>	INGEGNERIA ENERGETICA E NUCLEARE		
<b>INSEGNAMENTO</b>	COMBUSTIONE E IMPATTO AMBIENTALE C.I.		
<b>CODICE INSEGNAMENTO</b>	23225		
<b>MODULI</b>	Si		
<b>NUMERO DI MODULI</b>	2		
<b>SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI</b>	ING-IND/25, ING-IND/20		
<b>DOCENTE RESPONSABILE</b>	CAPUTO GIUSEPPE	Professore Associato	Univ. di PALERMO
<b>ALTRI DOCENTI</b>	TOMARCHIO ELIO	Professore Associato	Univ. di PALERMO
	ANGELO		
	CAPUTO GIUSEPPE	Professore Associato	Univ. di PALERMO
<b>CFU</b>	12		
<b>PROPEDEUTICITA'</b>			
<b>MUTUAZIONI</b>			
<b>ANNO DI CORSO</b>	1		
<b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>	2° semestre		
<b>MODALITA' DI FREQUENZA</b>	Facoltativa		
<b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>	Voto in trentesimi		
<b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>	<b>CAPUTO GIUSEPPE</b>		
	Lunedì	10:00 12:00	studio del docente-DICGIM terzo piano ed. 6
	Mercoledì	10:00 12:00	studio del docente-DICGIM terzo piano ed. 6
	<b>TOMARCHIO ELIO</b>		
	<b>ANGELO</b>		
	Martedì	11:00 13:00	Edificio 6 - II piano - stanza 217
Giovedì	11:00 13:00	Edificio 6 - II piano - stanza 217	

DOCENTE: Prof. GIUSEPPE CAPUTO

<b>PREREQUISITI</b>	Nozioni di base relative a: chimica generale - bilanci di energia e materia - funzioni di stato - trasporto di quantità di moto ed energia- equilibri chimico-fisici - teoria delle funzioni di più variabili, equazioni differenziali.
<b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b>	Conoscenza e capacità di comprensione • Conoscere i principi chimico-fisici alla base dei processi di combustione con particolare riferimento allo sviluppo di fiamme nelle apparecchiature per l'industria, nei veicoli a motore e nelle turbine a gas. • Conoscere i meccanismi cinetici delle reazioni di combustione. • Conoscere i principi del trasporto di calore e di materia nelle fiamme. • Conoscere i modelli matematici più opportuni per la progettazione delle apparecchiature basate sulla combustione. • Conoscere e controllare le emissioni nocive derivanti dalla combustione. Capacità di applicare conoscenza e comprensione • Impatto ambientale dei motori a combustione interna, dei turbogas, dei gruppi a vapore e ciclo combinato, dei termovalorizzatori per rifiuti. Lo studente sarà in grado di scegliere e utilizzare i modelli più opportuni e di progettare le apparecchiature di combustione più ricorrenti negli impianti industriali e nei trasporti. Autonomia di giudizio • Viene stimolata riflettendo insieme agli studenti sull'effetto che hanno vari parametri chimico-fisici sullo sviluppo delle fiamme e stimolando la riflessione sui modelli più adeguati alla progettazione delle apparecchiature. Lo studente sarà in grado di valutare autonomamente i vantaggi e svantaggi delle soluzioni adottate e la appropriatezza dei risultati ottenuti durante lo svolgimento degli esercizi. Abilità comunicative • Lo studente acquisirà la capacità di comunicare problematiche complesse inerenti agli argomenti del corso. Gli studenti verranno stimolati a esporre in aula brevi tematiche relative alla combustione, facendo ricorso alla terminologia tecnico-scientifica propria della combustione e agli strumenti della rappresentazione matematica inerente. Verranno inoltre forniti test mirati all'apprendimento della terminologia più appropriata. Capacità d'apprendimento • L'approccio didattico mira a sottolineare come l'apprendimento sia facilitato da una buona padronanza dei contenuti di base e caratterizzanti dell'ingegneria chimica. Si privilegia un approccio critico all'apprendimento caratterizzato dalla definizione del problema e dei vincoli da rispettare nella sua soluzione e una costruzione meditata della migliore strategia di risoluzione. Si stimolano gli studenti ad applicare le conoscenze acquisite a contesti differenti da quelli presentati durante il corso e ad approfondire autonomamente gli argomenti trattati specializzandoli a problemi specifici proposti dal docente.
<b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>	La valutazione si svolgerà sulla base di una prova orale. Tale prova ha l'obiettivo di verificare le competenze di base e capacità di problem solving dell'esaminando. Le domande verteranno sui contenuti descritti nella scheda e tenderanno a verificare: le conoscenze acquisite; le capacità elaborative; il possesso di capacità espositiva; la capacità di stabilire connessioni autonome tra i contenuti e svincolate dai testi di riferimento; la capacità di fornire giudizi autonomi in merito ai contenuti disciplinari; la capacità di comprendere le applicazioni legate agli ambiti della disciplina; la capacità di collocare i contenuti disciplinari all'interno del contesto professionale e tecnologico di riferimento. La valutazione finale prevede un voto in trentesimi secondo i criteri sotto riportati: 30- 30 e lode: ottima conoscenza degli argomenti, ottima proprietà di linguaggio, ottima capacità analitica, lo studente è in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti; 27-29: Buona padronanza degli argomenti, piena proprietà di linguaggio, lo studente è in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti 24-26: conoscenza di base dei principali argomenti, discreta proprietà di linguaggio, con limitata capacità di applicare autonomamente le conoscenze alla soluzione dei problemi proposti 21-23: non ha piena padronanza degli argomenti principali dell'insegnamento ma ne possiede le conoscenze, soddisfacente proprietà di linguaggio, scarsa capacità di applicare autonomamente le conoscenze acquisite 18-20: minima conoscenza di base degli argomenti principali dell'insegnamento e del linguaggio tecnico, scarsissima o nulla capacità di applicare autonomamente le conoscenze acquisite La prova non sarà superata nel caso in cui l'esaminando dimostri di non possedere una conoscenza accettabile dei contenuti degli argomenti trattati nell'insegnamento.
<b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b>	Lezioni frontali, Esercitazioni in aula, Esercitazioni in laboratorio.

**MODULO**  
**IMPATTO AMBIENTALE DEI SISTEMI ENERGETICI**

*Prof. ELIO ANGELO TOMARCHIO*

**TESTI CONSIGLIATI**

- Bianchi M., De Pascale A., Gambarotta A., Pretto A., Sistemi Energetici - Impatto ambientale (vol.3 ) Ed. Pitagora , 2008. ISBN: 978-8837117542
- Cau G., Cocco D., L'impatto ambientale dei sistemi energetici, IV edizione, 2015, Editore S.G.E. ISBN: 8889884304
- Mareddy A.R., Environmental Impact Assessment: Theory and Practice, 1st edition, Butterworth-Heinemann; 2017. ISBN: 97800128111390
- Monte M.M., Torretta V., Valutazione e impatto ambientale. Manuale tecnico-operativo per l'elaborazione di studi di impatto ambientale. Editore: Hoepli, Collana: Biblioteca Tecnica Hoepli, 2016. ISBN: 978-88-203-7552-2
- Dispense e Documentazione messa a disposizione dal docente

<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	C
<b>AMBITO</b>	20927-Attività formative affini o integrative
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	96
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE</b>	54

**OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO**

Obiettivo dell'insegnamento e' lo studio dell'impatto ambientale determinato dall'utilizzo di sistemi energetici per la produzione di energia termica ed elettrica e la loro gestione volta alla minimizzazione delle potenziali emissioni. (vedere anche gli Obiettivi formativi riportati nel Regolamento Didattico del Corso di Studio).

**PROGRAMMA**

ORE	Lezioni
2	INTRODUZIONE AL CORSO - Panorama energetico mondiale e italiano - Fonti primarie, trasformazioni di energia e impatto sull'ambiente. Principali fattori ambientali: aria, acqua, suolo, ... Tipologie di inquinanti per le varie fonti energetiche.
4	INQUINAMENTO TERMICO DEI SISTEMI ENERGETICI. La potenza termica scaricata dagli impianti termoelettrici: effetto del rendimento. Sistemi di raffreddamento. Circuito aperto ed impatto ambientale. Torre evaporativa e Torre a secco e ibrida: problema del pennacchio. Condensatore ad aria. Le emissioni di PM da torri di raffreddamento.
6	INQUINAMENTO ATMOSFERICO DEI SISTEMI ENERGETICI. Percorso degli inquinanti in atmosfera: gradiente termico, stabilita' atmosferica. Cenni sulla dispersione di inquinanti dal camino: concentrazione in aria e al suolo con funzione gaussiana; punto di massima concentrazione. Inquinanti chimici- NOx: meccanismi di formazione; effetti sull'ambiente: smog fotochimico, distruzione ozono in alta quota e deposizioni acide. CO: formazione ed effetti sull'ambiente. SOx: formazione; effetti sull'ambiente. Gli HC e l'ambiente. Il particolato atmosferico: caratterizzazione; distribuzione dimensionale; formazione; effetti nocivi. I CFC e i sistemi frigoriferi. La CO2: la produzione dai combustibili; l'effetto serra: lo spettro di emissione terrestre e il GWP.
2	IMPATTO AMBIENTALE DELLE ACQUE DI PROCESSO DI SISTEMI ENERGETICI - Tecnologie per il trattamento delle acque - Rimozione sostanze in sospensione - Vasche di sedimentazione - Filtrazione - Modelli di scarico di inquinanti in fiumi, piccoli e grandi laghi, nel mare. Cenni della dispersione nei suoli. Modelli di diffusione, tecniche di riduzione e rimozione di inquinanti nei suoli.
6	IMPATTO AMBIENTALE DEI GRUPPI TURBOGAS e DEI CICLI COMBINATI . Condizioni al contorno della combustione del TG. Camera di combustione convenzionale. Diffusore e contropressione di inerzia. Formazione inquinanti nel TG, metodi per il controllo emissioni. Tecnologie per combustori a ridotto impatto. Sistemi di post-trattamento: SCR e SCONOX. Emissioni da combustori convenzionali e DLE.
4	IMPATTO AMBIENTALE DEI GRUPPI A VAPORE . Gruppi a vapore convenzionali e gruppi USC per il carbone. Bruciatori per il polverino. Emissioni e controllo degli NOx (air staging, fuel staging, FGR). Post-trattamento DeNOx, DeSOx, cattura polveri. Confronto emissioni CC e centrale a polverino. Combustione a letto fluido. Gassificazione carbone e residui petroliferi (IGCC). Utilizzo del syngas. Aspetti ambientali degli impianti IGCC. Rimozione del particolato: precipitatori elettrostatici (ESP), filtri a maniche, a ciclone, ad umido, Venturi.
2	IMPATTO AMBIENTALE DEI MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA (MCI) - Funzionamento di un MCI: accensione spontanea o comandata, Normativa EURO 6. Tecniche per il controllo delle emissioni: ricircolo gas di scarico (EGR), Catalizzatore trivalente, sonda lambda, Sistema SCR, filtro antiparticolato.

8	IMPATTO AMBIENTALE DI SISTEMI A FONTI RINNOVABILI. Energia eolica: la potenza disponibile all'aerogeneratore, efficienza aerodinamica della pala di un aerogeneratore. Impatto acustico e di ecosistema. Sistemi geo-termoelettrici: impianto con scarico in depressione, impianto a condensazione, impianto a vapore di flash, impianto a ciclo binario. Impianti con integrazione tra fonte geotermica e fonte fossile. Pompe di calore geotermiche. Energia solare: rendimento di impianto, impatto sull'ambiente e riciclo dei materiali. Impianti idroelettrici : Impatto ambientale del bacino - Rapporto con l'ecosistema - Deflusso minimo vitale. Impianti a biomassa: Impatto dei biocombustibili - Emissioni di gas. Sistemi di accumulo : pompaggio, volani, supercapacitori, batterie, idrogeno come vettore energetico.
4	IMPATTO AMBIENTALE DI SISTEMI NUCLEARI. Il ciclo del combustibile. Valutazione e monitoraggio delle emissioni gassose e liquide. Riscaldamento dei bacini d'acqua. Cenni sulla gestione dei rifiuti radioattivi. Il Deposito Nazionale. Impatto ambientale nelle attività di decommissioning - Impatto radiologico di un sistema nucleare; rilascio di composti radioattivi, controllo delle immissioni in aria, acqua, suolo, etc, monitoraggio. Dose potenziale ai lavoratori e alla popolazione durante la normale attività o in caso di incidente. Cenni sull'impatto ambientale di un impianto a fusione.
2	IMPATTO AMBIENTALE DI SISTEMI PER IL TRATTAMENTO DEI RIFIUTI - Gestione integrata dei rifiuti, Metodi di riduzione degli impatti: compostaggio, digestione anaerobica, TMB, termodistruzione. Impatto ambientale delle discariche. I termovalorizzatori : funzionamento, riduzione e controllo delle emissioni.
4	PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE - Normativa Europea ed Italiana - VIA e VAS. Autorizzazione Integrata (AIA). Screening e Scoping. Strumenti per la individuazione degli impatti ambientali. Liste di controllo, matrici, Multiple Criteria Analysis (MCA). Relazione sullo Studio di Impatto Ambientale.
<b>ORE</b>	<b>Esercitazioni</b>
2	Applicazione di alcuni semplici modelli di valutazione della concentrazione di inquinanti in aria in condizioni normali e di incidente. Uso del codice HOTSPOT in diversi scenari ( incendio, esplosione, etc)
4	Valutazione di impatto ambientale per sistemi eolici e sistemi solari. Metodi per quantificare l'impatto visivo di una wind farm. Impatto paesaggistico di un impianto solare. Analisi di situazioni reali con sistemi energetici a fonte rinnovabile: occupazione del suolo, interferenze, collegamento alla rete, etc. Il caso dello smaltimento o recupero dei materiali di un pannello solare.
4	Preparazione delle relazioni VIA e VAS in un caso concreto. Screening e scoping: indicatori ambientali, ricostruzioni grafiche, matrici, grafi, mappe tematiche a supporto alla valutazione dell'impatto ambientale ed alla definizione della compatibilità del progetto con l'ambiente circostante. Pubblicazione del progetto; Consultazioni ed esito. Fase decisionale. Sintesi non tecnica. Analisi ambientale, individuazione dei parametri. Il portale regionale delle valutazioni ambientali. Linee Guida INAIL e ISPRA.

## MODULO COMBUSTIONE

Prof. GIUSEPPE CAPUTO

### TESTI CONSIGLIATI

1) S. R. Turns, An Introduction to Combustion: Concepts and Applications, 2nd ed., McGraw-Hill, 2000, ISBN-13 : 978-0073380193

2) S. McAllister et al., Fundamentals of Combustion Processes, Springer, 2011, ISBN 978-1-4419-7942-1

TIPO DI ATTIVITA'	B
AMBITO	50367-Ingegneria energetica e nucleare
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	96
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE	54

### OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO

La combustione e' la piu' antica tecnologia sviluppata dall'uomo ed oggi e' ancora di grande attualita' poiche' circa l'80% dell'energia prodotta dall'uomo, principalmente per il trasporto, la produzione di elettricita' e il riscaldamento, proviene da processi di combustione. Dalla combustione proviene l'energia per la nostra vita, ma anche gran parte dell'inquinamento atmosferico. Per questo motivo lo studio dei processi chimico-fisici che stanno alla base della combustione costituisce un passo essenziale per la mitigazione dell'inquinamento ambientale e per un piu' efficiente sfruttamento dei combustibili. Il corso di combustione mira all'apprendimento dei principi di formazione e sviluppo delle fiamme e all'apprendimento delle tecniche di progettazione delle principali apparecchiature in campo motoristico, energetico e impiantistico. Le conoscenze che si acquisiscono sono utili in numerosi settori professionali quali il risparmio energetico, la sicurezza, i trasporti e l'impatto ambientale.

### PROGRAMMA

ORE	Lezioni
2	Introduzione al corso
4	Termochimica e termodinamica della combustione. Stechiometria e composizione dei fumi. Potere calorifico. Temperatura adiabatica di fiamma.
2	Fenomeni controllanti la combustione: cinetici, diffusivi e termici.
5	Cinetica chimica e reazioni elementari. Meccanismi di combustione dell'idrogeno, del metano, del monossido di carbonio e degli idrocarburi. Diagrammi di esplosione
5	Fiamme premiscelate in regime laminare e turbolento. Limiti di infiammabilita'.
4	Fiamme a diffusione
4	Ignizione termica, radicalica e termoradicalica.
2	Combustione nei motori rocket
3	Stabilita' delle fiamme e dimensionamento dei bruciatori dei forni industriali.
3	Combustione nelle turbine a gas
3	Inquinanti prodotti dalla combustione. Meccanismi di formazione dei principali inquinanti e sistemi di riduzione

  

ORE	Esercitazioni
4	Calcolo della composizione dei fumi e temperatura di fiamma
4	Calcoli di velocita' di reazione e tempi caratteristici della combustione
3	Calcolo delle prestazioni dei bruciatori delle turbine a gas

  

ORE	Laboratori
2	Calorimetria. Misura del calore di combustione.
4	Laboratorio sulle fiamme premiscelate e a diffusione