



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## ENERGETICA GENERALE

**ALESSANDRO FRANCO**

Anno accademico

2023/24

CdS

INGEGNERIA DELL'ENERGIA

Codice

973II

CFU

9

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
ENERGETICA GENERALE	ING-IND/10	LEZIONI	90	ALESSANDRO FRANCO

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

L'insegnamento ha lo scopo di introdurre tutta una serie di concetti legati all'uso delle risorse energetiche ed agli usi finali dell'energia a partire dalle conoscenze fisiche di base. Gli obiettivi sono principalmente metodologici, approfondendo l'importanza dei concetti di bilanci di massa e di energia e di irreversibilità dei processi di conversione, la percezione degli ordini di grandezza legati alle risorse energetiche ed agli usi finali di energia, la spiegazione del funzionamento dei principali sistemi e componenti energetici e la definizione del concetto di filiera dell'energia identificando in maniera corretta la funzione di ciascun componente

#### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Le varie forme di energia e le classificazioni. Fonti energetiche ed usi finali. Richiamo sui concetti di energia e flusso di energia (potenza). Percezione di grandezze energetiche. Esempi di ordini di grandezza e dati.

Richiami sulle applicazioni dei bilanci di massa ed energia (prima legge della termodinamica) con riferimento ad alcuni specifici casi applicativi. Confronto tra i vari termini energetici (termini e meccanici) in alcuni sistemi fluenti utilizzando gas, acqua e vapore. Esempi applicativi: la turbina a vapore e la idropulitrice meccanica.

Richiami sulle proprietà termofisiche del vapore d'acqua ed utilizzazione delle tabelle termodinamiche. Valutazione della potenza di alcuni sistemi energetici di interesse tecnico pratico. Caso riferito ad uso di vapore di acqua per un processo agroalimentare. Un impianto termoelettrico basato su ciclo Rankine: confronto tra casi ideali e caso con irreversibilità della turbina.

Analisi di sistemi energetici sulla base del primo e del secondo principio della termodinamica. Considerazioni sulle dissipazioni termiche verso l'ambiente. Il concetto di qualità delle forme di energia. Trasformazioni ed irreversibilità. Il concetto di degradazione dell'energia.

Il concetto di exergia. Exergia associata a diversi sistemi: sorgenti termiche a temperatura fissa, massa con capacità termica finita, sistemi fluenti. Valutazioni numeriche e confronti.

Definizione di exergia di sistemi fluenti. I casi del gas ideale e del liquido compresso. Esempi. Definizione del fattore exergetico. Valutazioni numeriche. Exergia associata ad una radiazione di corpo nero. Valutazioni associate ad alcuni casi significativi. Potenza exergetica specifica associata alla radiazione solare.

Implicazioni del secondo principio della Termodinamica sull'analisi di sistemi energetici. Il concetto di "risparmio energetica", efficientamento di sistemi energetici. Sistemi energetici con effetti utili eterogenei: gli impianti cogenerativi. Le fonti rinnovabili. Esempio applicativo: confronto tra impianto per la produzione di vapore ed impianto CHP.

Rendimenti di secondo principio ed irreversibilità associati a processi di scambio termico. Il caso dei generatori di vapore degli impianti termoelettrici a ciclo Rankine. Valutazioni numeriche. Analisi del ciclo Brayton. Confronto tra ciclo Brayton ideale e ciclo Brayton ideale: analisi delle irreversibilità nei vari componenti.

Conversione diretta ed indiretta dell'energia. I combustibili e le combustioni. Classificazione dei combustibili sulla base di elementi quantitativi.

Visione di primo principio: il potere calorifico inferiore e superiore e la temperatura di fiamma adiabatica. Determinazione di alcuni valori caratteristici (metano ed iso-ottano) a partire dalle entalpie molarie di formazione dei composti con il metodo del bilancio energetico. Valutazione quantitativa della temperatura adiabatica di fiamma del metano coi i valori dei calori specifici medi delle sostanze coinvolte nel processo. Le combustioni reali.

Combustibili e combustioni: da una visione di primo principio a quella di secondo principio. Energia libera di Gibbs molare di formazione.

Energia libera di Gibbs standard di reazione dei combustibili. Determinazione dell'exergia chimica dei combustibili: il problema della definizione di un ambiente di riferimento. Modello di sostanza di riferimento e valutazione di alcuni valori dell'exergia chimica di combustibili: monossido di carbonio e metano.

Le combustioni reali e le irreversibilità intrinseche ed estrinseche. Gli impianti termoelettrici: limite degli impianti basati su ciclo Rankine (centrali termoelettriche a vapore) e su impianti basati su ciclo Brayton (centrali turbogas). Limiti dei sistemi semplici. Impianti a ciclo combinato Brayton-Rankine. Implementazione della logica dell'impianto a ciclo combinato anche per combustibili solidi: sistemi con gassificazione.

Impianto con sistemi a combustione esterna: sistemi EFGT ed EFCC. Analisi comparative di impianti termoelettrici alimentati da diversi combustibili basati su bilanci di massa ed energia. Stima dei consumi di combustibile, delle emissioni di CO<sub>2</sub> e di valori specifici di emissione. Valutazioni numeriche.

Usi dell'energia e risorse energetiche. Evoluzione storica degli usi e dei consumi. Gli sviluppi dell'ultimo secolo e negli ultimi 15 anni. Indicatori di utilizzazione dell'energia. Situazione attuale. Fonti primarie e quantità utilizzate. Energia elettrica: modalità di produzione e risorse



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

energetiche utilizzate. Il recente sviluppo delle fonti rinnovabili.

I combustibili fossili. Petrolio e prodotti petroliferi. Classificazione dei prodotti petroliferi. Esempi tipici e dati quantitativi. Distillazione frazionata dei prodotti petroliferi. Disponibilità di risorse petrolifere. Il problema dei limiti della disponibilità di risorse ed il continuo superamento. I carboni fossili: classificazione dei carboni fossili e dati caratteristici. Il gas naturale.

I combustibili fossili e l'uso in impianti per la conversione di energia. Confronto tra i diversi combustibili in relazione ai rapporti caratteristici aria combustibile. Combustioni con eccesso di aria: valori caratteristici dei rapporti aria-combustibile in condizioni stechiometriche ed in condizioni reali. Le combustioni negli impianti termoelettrici: funzionamento delle caldaie e problemi indotti dalla riduzione della qualità del carbone.

Schemi impiantistici tradizionali.

Le diverse tipologie di carbone e le combustioni: stima dei rapporti aria-combustibile. Gli usi del carboni sub-bituminosi e lignitici. Superamento della combustione convenzionale: la combustione a letto fluido e gli schemi impiantistici relativi. I processi di gassificazione del carbone e gli impianti IGCC.

Bilancio energetico di un sistema con gassificatore di carbone. Utilizzazione dei gas di sintesi per combustione in impianti IGCC. Valori caratteristici dei rapporti aria/combustibile nel caso di combustione di syngas. Fonti rinnovabili e quasi rinnovabili. Il problema della classificazione: classificazioni su basi energetiche e su basi merceologiche. Esempi. Energia geotermica. Il fenomeno geotermico e le risorse geotermiche: elementi fisici di base.

Risorse geotermiche valorizzabili energeticamente. Classificazione sulla base delle proprietà termodinamiche. Diverse tipologie di risorsa geotermica: chimismo del fluido, stato fisico, temperatura e pressione. Valorizzazione energetica delle risorse geotermiche per la produzione di potenza. Impianti a vapore secco, impianti a separazione di vapore ed impianti a ciclo binario. Un caso impiantistico significativo: l'impianto geotermoelettrico di Valle Secolo (area di Larderello): schema impiantistico e bilanci energetici.

Utilizzazione delle risorse geotermiche: definizione dei concetti di rinnovabilità e sostenibilità dell'uso. Il problema dell'uso economicamente sostenibile. Energia solare. La radiazione solare. Elementi fisici di riferimento. Costante solare. Radiazione solare diretta e diffusa. Modelli semplificati per il calcolo della radiazione solare incidente su una superficie.

Calcolo della radiazione solare incidente in funzione delle diverse condizioni stagionali e di nuvolosità del cielo. Valutazioni numeriche effettuate con riferimento a 3 giornate tipo. Energie irradiate su una superficie: valori caratteristici. L'inseguimento solare: effetto degli angoli di inclinazione rispetto alla superficie orizzontale ed azimutale.

Utilizzazione della radiazione solare per la produzione di potenza. Solare termoelettrico o termodinamico: la concentrazione della radiazione solare. Collettori parabolici lineari, concentratori puntuali (solar dish) e sistemi a torre solare. Schemi impiantistici per la realizzazione di impianti solari a concentrazione. Rendimenti caratteristici. Conversione diretta della potenza: il solare fotovoltaico. Cenni ai principi fisici generali della conversione.

Elementi di base della conversione fotovoltaica. Celle fotovoltaiche, moduli fotovoltaici e generatori fotovoltaici. Curva caratteristica di un modulo fotovoltaico ed effetto della variazione della radiazione solare. Varie tecnologie disponibili e modalità di realizzazione di impianti fotovoltaici. Potenzialità e limiti della tecnologia. Biomasse per energia e bioenergie: cenni alla tematica e valutazioni preliminari. Calcoli di densità energetica delle biomasse residuali.

Biomasse per energia e biocombustibili. Le varie filiere per la produzione di biocombustibili da biomasse. Biomasse ligno-cellulosiche e processi termochimici. Biomasse oleaginose e produzione di biodiesel per transesterificazione. Biomasse amidaceo-zuccherine e produzione di bioetanolo. Biomasse umide e produzione di biogas con digestione anaerobica. Energia eolica. Il sistema dei venti e l'interesse energetico.

Potenza trasportata da correnti eoliche. Caratterizzazione delle risorse eoliche. Velocità media. Distribuzione probabilistica di Weibull.

Energia idraulica ed impianti idroelettrici. Principi fisici di base. Concetti di salto geodetico e portata volumetrica. Analisi di alcuni dati quantitativi caratteristici. Impianti di conversione dell'energia. Possibili schemi impiantistici e modalità di funzionamento.

*Ultimo aggiornamento 22/12/2023 09:42*