

PROGETTAZIONE DI IMPIANTI TERMOTECNICI (codice 39096) (6 CFU) - (Ing. MECCANICA Magistrale + Ing. EDILE Magistrale)

Prof. Enzo BOMBARDIERI

Il corso si compone di:

- **Lezioni (32 ore)**, in cui sono svolti argomenti teorici e accennati alcuni esempi numerici (sempre limitati al singolo argomento in questione).
- **Esercitazioni (16 ore)**, in cui, con l'assistenza del docente o di un suo incaricato, gli studenti s'impegnano nell'esecuzione di un progetto d'impianto (un impianto di riscaldamento tradizionale a radiatori o/e un impianto di condizionamento) al fine di sperimentare l'applicazione delle nozioni apprese in casi reali. Lo svolgimento del progetto e la presentazione degli elaborati sono condizioni necessarie per l'ammissione all'orale dell'esame.

Al fine di agevolare sia lo svolgimento del corso sia la preparazione dell'esame, il programma previsto è stato diviso in "moduli", ciascuno con il proprio programma ben definito e il proprio materiale didattico di supporto (di volta in volta fornito dal docente). Tale scelta si prefigge anche di compensare, almeno parzialmente, la mancanza di un unico testo di riferimento che possa fungere da "struttura portante" per il corso.

Le lezioni (+ esercitazioni), per un totale di circa 48 ore, si articolano in 24 "moduli" della durata di due ore ciascuno (i programmi dei singoli moduli sono riportati successivamente).

Le rimanenti ore sono lasciate per le fasi interlocutorie, per i chiarimenti richiesti dagli studenti e per compensare eventuali ritardi nello sviluppo degli argomenti.

PRESUPPOSTI DEL CORSO

Una proficua frequenza alle lezioni presuppone una buona conoscenza degli argomenti svolti nei corsi di Fisica e Fisica Tecnica - quest'ultimo è **propedeutico** al corso - con particolare riferimento a:

- concetti base di meccanica (velocità, forza, quantità di moto, lavoro, energia, potenza, leggi principali della meccanica newtoniana);
- concetti di termodinamica applicata (lavoro, calore, 1° e 2° principio, capacità termica massica e/o molare, bilanci di massa ed energia per sistemi chiusi e aperti, gas e liquidi perfetti);
- concetti di trasmissione del calore (conduttività, convezione, irraggiamento e relative leggi fondamentali);
- concetti base di meccanica dei fluidi (pressione, portata, equazione di Bernoulli, perdite di carico, macchine operatrici).

SCOPO DEL CORSO

Al termine del corso gli studenti dovranno essere in grado di:

1. Effettuare una prima analisi relativamente alla scelta dell'impianto adeguato per una data tipologia edilizia, sapendo cogliere pregi e difetti delle soluzioni disponibili.
2. Calcolare i carichi termici estivi e invernali (anche con metodi semplificati) di un qualsiasi edificio civile o del terziario.
3. Per le tipologie impiantistiche più comuni, eseguire un dimensionamento di massima ed essere in grado di scegliere e designare i principali elementi (caldaia, gruppo frigorifero, pompe, tubazioni, unità terminali, centrali di trattamento aria, canalizzazioni dell'aria).
4. Stendere un primo lay-out o riservare, nella progettazione edilizia, gli spazi necessari ai componenti dell'impianto (centrali termiche, centrali frigorifere, canalizzazioni d'aria, pannelli radianti a pavimento, ecc.).

STRUTTURA E PROGRAMMA DEL CORSO

1. TERMODINAMICA APPLICATA (Richiami dal corso di Fisica Tecnica)

Sistemi termodinamici chiusi; scambi energetici: interazioni di tipo calore e lavoro. Energia interna e 1° Principio. Modello di gas perfetto e liquido perfetto: leggi costitutive e calori *specifici*, trasformazioni termodinamiche e loro rappresentazione sui piani (p-v), (T-s), (h-s).

Sistemi aperti: concetti di portata (massica e volumetrica) e potenza (termica e meccanica), definizione d'entalpia, bilancio di massa e d'energia.

Cicli termodinamici diretti e inversi, 2° Principio, entropia, rappresentazione in coordinate (T-s).

Passaggi di stato: regola di Gibbs delle fasi, calore latente d'evaporazione/condensazione, liquefazione/solidificazione ecc.

2. TRASMISSIONE DEL CALORE (Richiami dal corso di Fisica Tecnica)

Fenomenologia: conduzione, convezione, irraggiamento - cenni descrittivi e introduzione delle grandezze fisiche in gioco.

Legge generale dello scambio termico per applicazioni pratiche (Equazione e Postulato di FOURIER, Equazione di NEWTON): parete piana infinita e scambiatori di calore (equicorrente e controcorrente) a superficie, esempi pratici. Bilanci energetici per scambiatori di calore. Isolamento termico.

3. MOTO DEI FLUIDI ENTRO CONDOTTI (Richiami dal corso di Fisica Tecnica + approfondimenti)

Pressione idrostatica. Flusso di un fluido incomprimibile non viscoso: equazione di continuità e bilancio della quantità di moto (eq. di Bernoulli), uso delle due equazioni.

Fluidi viscosi newtoniani: viscosità, attrito alla parete, dissipazione viscosa moto laminare e turbolento, numero di Reynolds, influenza della rugosità superficiale della parete.

Perdite di carico continue: diagramma di Moody e diagrammi d'uso pratico per tubazioni commerciali, perdite di carico localizzate, metodo del coefficiente di perdita localizzata e metodo della lunghezza equivalente. Cadente di una condotta. Cenni di simbologia idraulica.

Procedura pratica di dimensionamento di una tubazione; caratteristica del circuito (caratteristica resistente).

4. MACCHINE A FLUIDO OPERATRICI

Nomenclatura: pompe, ventilatori, compressori. Bilancio energetico di una macchina operatrice, espressione del lavoro di pompaggio e della potenza richiesta dalla pompa, rendimento, curve caratteristiche.

Pompe: classificazione e curve caratteristiche tipiche.

Ventilatori: classificazione e curve caratteristiche tipiche, campi d'impiego.

Compressori: descrizione schematica dei tipi principali (volumetrico e fluidodinamico) e loro campo d'impiego, lavoro isotermico, adiabatico e politropico; inter-refrigerazione, compressori multistadio.

5. PSICROMETRIA E ARIA UMIDA

Miscela ideali di gas e vapori, pressione parziale, pressione (tensione) di vapore, aria umida, grandezze caratteristiche dell'aria umida (X , ϕ , t , h), grandezze termodinamiche (p , h), diagrammi dell'aria umida: diagramma di Mollier e di Grosvenor (Carrier - ASHRAE), definizione della temperatura di bulbo umido e della temperatura di rugiada.

Principali trasformazioni elementari dell'aria umida (miscelazione, riscaldamento sensibile, raffreddamento sensibile, raffreddamento con deumidificazione, umidificazione adiabatica, umidificazione a vapore), tipiche trasformazioni combinate per il condizionamento invernale (miscela + preriscaldamento + umidificazione + postriscaldamento) e per il condizionamento estivo (miscela + raffreddamento + postriscaldamento).

6. BENESSERE E CONDIZIONI INTERNE DI PROGETTO

Il bilancio termico dell'organismo: meccanismi di termoregolazione. Grandezze che influenzano il benessere. Stress termico. Azione di superfici radianti e temperatura del globotermometro. Temperatura effettiva. Scelta delle condizioni interne di progettazione. Classificazione degli impianti per il benessere (riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, termoventilazione, condizionamento, climatizzazione ecc...).

7. IL CALCOLO TERMICO INVERNALE PER IMPIANTI DI SOLO RISCALDAMENTO

Condizioni di progetto. Regime stazionario. Trasmissione del calore attraverso le strutture dell'edificio: pareti, solai, pavimenti, ecc. (con esempi). Ponti termici. Ventilazione naturale. Riscaldamento intermittente e messa a regime. Riscaldamento con totale rinnovo dell'aria. Umidificazione e sua influenza sul bilancio termico. Bilancio termico complessivo dell'edificio e bilancio del singolo locale. Definizione di grado-giorno e calcolo semplificato del fabbisogno energetico stagionale.

8. DISPOSIZIONI DI LEGGE: L. 373/76 - L. 10/91 e leggi successive

Concetti generali ispiratori della legislazione vigente. Calcolo della potenza (UNI 7357): definizione di Cd, Cv, Cg e limiti. Progetto dell'impianto. Le limitazioni sull'energia (UNI 10344): calcolo del FEN, definizione dei rendimenti di produzione, distribuzione, regolazione ed emissione, verifica del rendimento medio stagionale e del FEN limite. Isolamento delle tubazioni.

9. IL CALCOLO TERMICO ESTIVO

Condizioni esterne di progetto. Variazione delle condizioni durante la giornata. Bilancio energetico dell'ambiente condizionato: carichi termici sensibili e latenti, scopo del calcolo termico estivo. Radiazione solare attraverso il vetro; definizione di SHG e uso delle relative tabelle, fattori d'accumulo, schermi, ombre portate. Trasmissione del calore attraverso muri e tetti, irradiati e non; definizione di CLTD e uso delle relative tabelle. Infiltrazioni d'aria. Carichi termici interni. Fattori vari, perdite. Determinazione delle condizioni dell'aria da immettere nell'ambiente, portata d'aria esterna e condizioni dell'aria in ingresso ai trattamenti; bilanci e fabbisogni energetici relativi ai singoli trattamenti. Esempi.

10. LA PRODUZIONE DEL CALORE 1

Fluido termovettore. Combustibili; gas di rete, GPL, gasolio, olio combustibile. Bilancio energetico di una caldaia. Parti costituenti una caldaia per la produzione d'acqua calda. Tipi di caldaie: caldaie autonome (e relativa classificazione), caldaie di media potenza a tubi di fumo, caldaie di grossa potenza e a vapore (solo cenno). Bruciatori atmosferici e ad aria soffiata. Camini e norme relative. Installazione di caldaie autonome e norme relative.

11. PRODUZIONE DEL CALORE 2

Centrali termiche a gas per la produzione di acqua calda di potenza superiore a 35 kW: normative ex ISPESL (raccolta "R" D.M. 1.12.75). Dispositivi di controllo e di sicurezza: termostato di blocco, termostato d'esercizio, pressostato di blocco, valvola d'intercettazione combustibile, valvola di sicurezza, vasi d'espansione, ecc. Analisi dello schema esecutivo di una centrale termica.

12. PRODUZIONE DEL FREDDO 1

Ciclo termodinamico inverso (frigorifero): bilanci energetici. Definizione di COP. Macchine frigorifere e pompe di calore.

Ciclo frigorifero a compressione: realizzazione, fluidi frigoriferi d'uso comune, rappresentazione del ciclo sul piano (p - h), considerazioni energetiche. Centrale frigorifera, con compressore bistadio, funzionante con R 134a (Tetrafluoroetano - CH₂FCF₃).

13. PRODUZIONE DEL FREDDO 2

Macchine frigorifere utilizzate nella pratica del condizionamento dell'aria: classificazione e parametri tipici di prestazione. Descrizione e analisi dei principali componenti, linee guida per la scelta. Accorgimenti per l'installazione: parzializzazione, accumulo del freddo, portate d'acqua. Scelta del fluido condensante (aria, acqua a perdere, acqua di torre), cenni sulle torri di raffreddamento.

Cenni sulle macchine frigorifere ad assorbimento.

14. IMPIANTO DI RISCALDAMENTO AUTONOMO A RADIATORI E IMPIANTO A PANNELLI RADIANTI A PAVIMENTO

Radiatori in ghisa, in alluminio, in acciaio: descrizione e generalità. Emissione termica nominale secondo UNI 6514.

Procedura di dimensionamento dell'impianto: scelta dei radiatori, determinazione delle portate d'acqua, calcolo della rete di distribuzione (scelta dei percorsi e dei diametri delle tubazioni, scelta o verifica della pompa tramite il calcolo delle perdite di carico); accessori (valvole, saracinesche, termostati e cronotermostati, valvole termostatiche). Progettazione, di massima, di un impianto di riscaldamento con pannelli radianti a pavimento.

15. IMPIANTO INVERNALE / ESTIVO A TERMOCONVETTORI

Ventilconvettori: classificazione, generalità, parametri di funzionamento, scelta.

Procedura di dimensionamento dell'impianto: metodo di scelta dei ventilconvettori, determinazione delle portate d'acqua (estive e invernali), scelta dello schema d'impianto e calcolo della rete di distribuzione (diametri delle tubazioni, scelta delle pompe), calcolo e scelta degli accessori.

16. IMPIANTO A TUTTA ARIA 1

Schema d'impianto a tutta aria, generalità, bilanci di massa e bilanci energetici, aria di ripresa, aria di rinnovo, aria di ricircolo, aria d'espulsione, pressione relativa degli ambienti.

Le unità di trattamento centralizzato dell'aria: scelta dei trattamenti, descrizione dei dispositivi componenti (serrande, filtri, batterie di scambio termico, umidificatori ad acqua e a vapore, ventilatori).

17. IMPIANTI A TUTTA ARIA 2

I canali di distribuzione dell'aria: cenni sui metodi di dimensionamento e particolarità costruttive.

Cenni sulle problematiche connesse alla diffusione dell'aria negli ambienti, le unità di immissione dell'aria trattata (bocchette, anemostati, griglie, ecc.).

18. ALTRE TIPOLOGIE DI IMPIANTO

Impianti ad aria primaria e ventilconvettori, impianti a pannelli radianti, termoconvettori, tubi alettati. Condizionatori autonomi ad armadio, "split -system".

19. IMPIANTI INDUSTRIALI

Problematiche tipiche del riscaldamento industriale. Stratificazione dell'aria. Infiltrazioni ed effetto camino. Riscaldamento con aerotermi, termostrisce, generatori d'aria calda. Termoventilazione. Ventilazione estiva. Raffrescamento adiabatico.

20. REGOLAZIONE AUTOMATICA

Regolazione on-off: termostati, umidostati, pressostati. Concetto di differenziale.

Regolazione modulante di scambiatori di calore: per variazione di portata e per variazione di temperatura sul primario o sul secondario. Acqua: valvole deviatrici e miscelatrici, aria, serrande.

Cenni: Regolatori pneumatici, elettrici, elettronici (analogici e digitali). **Cenni:** Azione proporzionale (P), azione proporzionale + integrale (PI), azione proporzionale + integrale + derivativa (PID).

21. SCHEMI FUNZIONALI DI IMPIANTO

Descrizione e analisi d'alcuni schemi funzionali caratteristici d'impianto.

22. SCHEMI FUNZIONALI D'IMPIANTO

Descrizione e analisi d'alcuni schemi funzionali caratteristici d'impianto.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Dispense a cura del Docente.

Pubblicazione AERMEC: elementi di termoventilazione e condizionamento. (*)

Pubblicazione AERMEC: introduzione al condizionamento dell'aria. (*)

C. Pizzetti: "Condizionamento dell'aria e refrigerazione" (2 volumi) - Ed. Tamburini - Masson - 3a ed.

Dall'O' – Palmizi: Impianti di riscaldamento - Ed. CLUP.

L. Agnoletto - P. Romagnoli – O. Saro: Legge 10/91 – Guida agli adempimenti per la progettazione edile ed impiantistica. Edizioni PEG.

Rumor - Strohmer: Riscaldamento, Ventilazione, Condizionamento, Ricupero energetico, Impianti sanitari – Ed. HOEPLI.

Ditta CALEFFI: quaderni tecnici.

N. Rossi: "Manuale del termotecnico" - Ed. HOEPLI.

(*) Non protocollati ma disponibili all'uso temporaneo presso la biblioteca.

MODALITÀ D'ESAME

L'esame prevede:

- consegna degli elaborati relativi all'attività di laboratorio (almeno una settimana prima della data d'esame);
- esame orale: discussione sul lavoro svolto e domande di teoria.

CONTENUTO DI MASSIMA DEL CORSO

1. **Termodinamica Applicata: [Richiami](#)**
2. **Trasmissione del Calore: [Richiami](#)**
3. **Moto dei Fluidi Entro Condotti: [Richiami](#)**
4. **Macchine a Fluido Operatrici**
5. **Psicrometria e Aria Umida**
6. **Benessere e Condizioni Interne Di Progetto**
7. **Il Calcolo Termico Invernale Per Impianti Di Solo Riscaldamento**
8. **Disposizioni di Legge: L. 373/76 - L. 10/91 e leggi successive**
9. **Il Calcolo Termico Estivo**
10. **La Produzione del Calore (Parte 1 E Parte 2)**
11. **Produzione del Freddo (Parte 1 E Parte 2)**
12. **Impianto di Riscaldamento Autonomo a Radiatori e Impianto a Pannelli radianti a pavimento**
13. **Impianto Invernale / Estivo a Termoconvettori**
14. **Impianto a Tutta Aria (Parte 1 E Parte 2)**
15. **Altre Tipologie di Impianto**
16. **Impianti Industriali**
17. **Regolazione Automatica**
18. **Schemi Funzionali di Impianto**