Universita' di Pisa – Facolta' di Ingegneria - Corso di Laurea in INGEGNERIA EDILE

FISICA TECNICA AMBIENTALE

(SSD ING-IND/11 – CFU 9)

Docente: Francesco Leccese

Propedeuticità: Fisica Generale e Analisi Matematica II

Obiettivi formativi

L'insegnamento si propone di fornire nozioni di base sui seguenti argomenti: termodinamica, trasmissione del calore, isolamento termico e risparmio energetico negli edifici, aria umida, benessere termoigrometrico degli ambienti, climatizzazione degli ambienti, dimensionamento igrometrico dei componenti edilizi, illuminazione naturale e artificiale degli ambienti, illuminazione urbana e inquinamento luminoso, acustica delle sale, isolamento acustico degli edifici, rumore ambientale e inquinamento acustico. Normativa tecnica. E' previsto un laboratorio di 40 ore (a frequenza obbligatoria per l'80%) in cui i vari argomenti sono approfonditi con applicazioni ed esercizi.

(English version)

BUILDING PYHSICS

The aim of the course is providing the students with basic elements on the following matters: thermodynamics, heat transfer, thermal insulation and energy consumption in buildings, humid air, indoor hygrothermal comfort, cooling of buildings, moisture behaviour of building components, daylighting and artificial lighting, urban lighting and light pollution, room acoustics, sound insulation in buildings, environmental noise. Technical standards. The basic elements are integrated with applications and exercises. A compulsory-attendance (min. 80%) practical training course consisting of 40 hours is contemplated.

Programma di massima delle lezioni

TERMOFISICA DELL'EDIFICIO. Richiami sui principi della termodinamica. Equazioni di bilancio per un sistema aperto a più bocche. Diagrammi di stato per fluidi bifase. Moto dei fluidi per differenze di temperatura. Macchina frigorifera a compressione di vapore, pompa di calore. Trasmissione del calore. La conduzione: postulato di Fourier ed equazione di Fourier. Semplici problemi in simmetria piana e cilindrica. Fondamenti di convezione. Scambiatori di calore. L'irraggiamento termico. L'irraggiamento solare: trasmissione del calore attraverso pareti opache e trasparenti. La miscela aria-vapore. Diagrammi psicrometrici. Principali trasformazioni della miscela aria-vapore. Trasmissione del vapore attraverso le pareti. Le condizioni ambientali per il benessere termoigrometrico. La climatizzazione degli ambienti.

ILLUMINAZIONE DEGLI AMBIENTI. Grandezze fotometriche. Unità fotometriche. Caratteristiche delle sorgenti luminose. Principali tipi di lampade e di apparecchi. Calcolo degli illuminamenti: sorgenti puntiformi e sorgenti estese. Illuminazione artificiale di interni. Illuminazione dovuta alla luce diurna e dimensionamento del finestrato. Illuminazione di esterni. Illuminazione urbana e inquinamento luminoso.

ACUSTICA DEGLI AMBIENTI. Onde elastiche in un fluido. Livelli in decibel. Acustica geometrica e limiti di validità. Psicoacustica: caratteristiche della sensazione uditiva, scala dei fon e audiogramma normale. Potere fonoisolante delle pareti e legge di massa. Acustica architettonica. Requisiti acustici delle sale: condizioni per una buona acustica, correzione acustica. Isolamento acustico degli edifici. Rumore ambientale.

Attività di laboratorio. Unità di misura. Semplici problemi di termodinamica. Dimensionamento di una macchina frigorifera. I fluidi refrigeranti. Riscaldamento di un ambiente con pompa di calore. Moti per differenza di temperatura in sistemi aperti. Le facciate e coperture ventilate, prestazioni energetiche. La ventilazione naturale degli ambienti. Caratteristiche termiche dei materiali edili. I materiali isolanti. La trasmissione del calore attraverso le strutture edilizie opache e vetrate. L'isolamento termico e il risparmio energetico negli edifici, la normativa. Misura in opera della resistenza termica delle pareti. Il diagramma di Mollier. Misura dell'umidità relativa. Fenomeni di condensa superficiale ed interstiziale nelle pareti, la normativa. Il condizionamento di una sala: caso estivo e caso invernale. Progetto dell'illuminazione artificiale e naturale di un ambiente, la normativa. Il luxmetro. Calcolo del potere fonoisolante di strutture edilizie, la normativa. Comfort acustico negli ambienti. Il fonometro. Problemi sull'irraggiamento termico. Sistemi solari termici e fotovoltaici. Sistemi solari passivi. Comportamento termico dinamico delle pareti opache. Il quadro normativo fisico-tecnico.

Testi di riferimento

- Cengel Y.A., *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill (Milano).
- Cavallini A., Mattarolo L., *Termodinamica applicata*, CLEUP (Padova).
- Kreith F., *Principi di trasmissione del calore*, Liguori (Napoli).
- Bellia L., Mazzei P., Minichiello F., Palma D., *Aria umida – Climatizzazione ed involucro edilizio*. Liguori (Napoli).
- Forcolini G., *Lighting*, Hoepli (Milano).
- Cirillo E., *Acustica Applicata*. McGraw-Hill (Milano).
- Appunti vari messi a disposizione dal docente.

Modalità di svolgimento degli esami

Prova orale. Iscrizione tramite lista, presso il Dipartimento di Energetica.

MASTER COPY

Tel. 388/9837745

LAB-N.16- 18/04/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema sulle vetrate insolate (*continuazione*). Trasmittanza termica di finestre. La normativa.

N.32- 19/04/2011 (ore 8.30-9.30)
Calcolo degli scambiatori a superficie con il metodo dell'efficienza.
N.33- 19/04/2011 (ore 9.30-10.30)
Scambiatori equicorrente e controcorrente. Confronto tra i vari tipi di scambiatori a superficie.
N.34- 19/04/2011 (ore 11.30-12.30)
Problema sui transitori termici: il caso dello scaldabagno.

LAB-N.17- 20/04/2011 (ore 13.30-14.30)
Problemi di condensa superficiale nei locali: generalità, aspetti normativi. Caso di umidità relativa interna costante.
LAB-N.18- 20/04/2011 (ore 14.30-15.30)
Caso di produzione di vapore nota e ricambio d'aria costante. Condensa superficiale in pareti schermate: il problema dell'armadio.

N.— FESTIVITA' PASQUALI

N.35- 28/04/2011 (ore 8.30-9.30)
Trasmissione del vapore attraverso le strutture edilizie. Caratteristiche dei materiali edili: permeabilità al vapore e fattore di resistenza al vapore.
N.36- 28/04/2011 (ore 9.30-10.30)
La condensa interstiziale: diagrammi di Glaser, aspetti normativi. Posizionamento della barriera vapore. Esempi.

LAB-N.19- 02/05/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema sull'influenza dei giunti di malta sulla trasmittanza termica delle pareti.
N.37- 03/05/2011 (ore 8.30-9.30)
La radiazione termica: generalità. Le grandezze fondamentali dell'irraggiamento termico: potere emissivo monocromatico, potere emissivo totale, radianza. Superfici lambertiane.
N.38- 03/05/2011 (ore 9.30-10.30)
Legge di Kirchhoff, il corpo nero. Leggi di Planck, Wien e Stefan-Boltzmann. Corpi grigi.
XXX- 03/05/2011 (ore 10.30-11.30)
Lezione sospesa per Assemblea elezioni rappresentanze studentesche.

LAB-N.20- 04/05/2011 (ore 13.30-14.30)
Problemi sull'irraggiamento termico: pannelli radianti.
LAB-N.21- 04/05/2011 (ore 14.30-15.30)
Problemi sull'irraggiamento termico: lastra metallica irraggiata.
N.39- 28/04/2010 (ore 8.30-9.30)
Fattori di vista. Potenza termica scambiata tra due superfici: casi particolari.
N.40- 28/04/2010 (ore 9.30-10.30)
Problemi sull'irraggiamento termico (continuazione).

LAB-N.22- 09/05/2011 (ore 13.30-14.30)
Sistemi solari termici e fotovoltaici: generalità, dimensionamento, normativa. (Ing. G. Salvadori)
N.41- 10/05/2011 (ore 8.30-9.30)
Illuminotecnica: generalità. Le grandezze fotometriche: flusso luminoso, intensità luminosa, illuminamento.
N.42- 10/05/2011 (ore 9.30-10.30)
Le grandezze fotometriche: luminosità, luminanza. Sorgenti lambertiane. Sorgenti puntiformi ed estese.
N.43- 10/05/2011 (ore 10.30-11.30)
Sistema di unità di misura per la fotometria. Valutazione del coefficiente di visibilità. Effetto Purkinje.

LAB-N.23- 11/05/2011 (ore 13.30-14.30)
Caratteristiche delle sorgenti luminose: efficienza, superficie fotometrica, temperatura di colore, resa cromatica, vita media.
LAB-N.24- 11/05/2011 (ore 14.30-15.30)
Illuminazione naturale degli ambienti: il fattore di luce diurna. La normativa.
N.44- 13/05/2011 (ore 8.30-9.30)
Calcolo degli illuminamenti. Fattori di vista. Illuminazione di esterni: generalità, inquinamento luminoso, normativa.
N.45- 13/05/2011 (ore 9.30-10.30)
Illuminazione artificiale degli ambienti: generalità, illuminamento medio, coefficiente di utilizzazione, normativa. Rendimento ottico degli apparecchi di illuminazione.

MASTER COPY Tel. 388/9837745

LAB-N.25- 16/05/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema sull'illuminazione naturale di un'aula scolastica: dimensionamento del finestrato.
N.46- 17/05/2011 (ore 8.30-9.30)
Acustica tecnica: generalità, onde piane e onde sferiche. Livelli in decibel. Esempi.
N.47- 17/05/2011 (ore 9.30-10.30)
Caratteri distintivi dei suoni. Scala dei fon. Audiogramma normale: soglia di udibilità e soglia del dolore.
N.48- 17/05/2011 (ore 10.30-11.30)
Acustica geometrica. Limiti di validità dell'acustica geometrica. Effetti di diffrazione.

LAB-N.26- 18/05/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema sull'illuminazione artificiale di un'aula scolastica: calcolo del numero di apparecchi.
LAB-N.27- 18/05/2011 (ore 14.30-15.30)
Coefficienti di assorbimento, riflessione e trasmissione. Potere fonoassorbente.
N.49- 20/05/2011 (ore 8.30-9.30)
Potere fonoisolante delle pareti: legge di massa. Pareti doppie, il finestrato. Esempi.
N.50- 20/05/2011 (ore 9.30-10.30)
Protezione dai rumori negli edifici. Isolamento acustico dai rumori per via aerea.

LAB-N.28- 23/05/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema del livello sonoro dovuto a più sorgenti. Potere fonoisolante di pareti composte.
N.51- 24/05/2011 (ore 8.30-9.30)
Transitori acustici negli ambienti chiusi: teoria di Sabine e tempo di riverberazione.
N.52- 24/05/2011 (ore 9.30-10.30)
Il tempo di riverberazione ottimale. La correzione acustica delle sale: sale accordabili, esempi.
N.53- 24/05/2011 (ore 10.30-11.30)
Requisiti acustici delle sale ed indici di qualità acustica. Effetto Haas. Effetto "cocktail party".

LAB-N.29- 25/05/2011 (ore 13.30-14.30)
Problemi di acustica. Problema sul calcolo del tempo di riverberazione di un'aula scolastica.
LAB-N.30- 25/05/2011 (ore 14.30-15.30)
Isolamento acustico dai rumori per via strutturale. Il pavimento galleggiante.
N.54- 27/05/2011 (ore 8.30-9.30)
Livello sonoro equivalente continuo. Rumore ambientale e inquinamento acustico.
N.55- 27/05/2011 (ore 9.30-10.30)
Zonizzazione acustica e normativa. Il rumore nei luoghi di lavoro.

LAB-N.31- 30/05/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema sul bilancio energetico di un locale.
LAB-N.32- 31/05/2011 (ore 8.30-9.30)
Caratteristiche termiche dinamiche delle pareti opache degli edifici. La trasmittanza termica dinamica.
LAB-N.33- 31/05/2011 (ore 9.30-10.30)
Indici di qualità prestazionale estiva delle pareti: fattore di attenuazione, ritardo temporale. Esempi. Aspetti normativi.
LAB-N.34- 31/05/2011 (ore 10.30-11.30)
Le prestazioni energetiche degli edifici: indici prestazionali e criteri di classificazione. La casa passiva.

LAB-N.35- 01/06/2011 (ore 13.30-14.30)
Strumenti per misure illuminotecniche: il luxmetro.
LAB-N.36- 01/06/2011 (ore 14.30-15.30)
Strumenti per misure acustiche: il fonometro.
N.56- 03/06/2011 (ore 8.30-9.30)
Il quadro normativo fisico-tecnico.
N.57- 03/06/2011 (ore 9.30-10.30)
Bibliografia del corso. Modalità d'esame.

13/06 ripetere tutti esercizi
19/06 consolidamento

Università di Pisa – Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea in INGEGNERIA EDILE – A.A. 2010-2011

FISICA TECNICA AMBIENTALE

(2° anno, 2° periodo, 9 CFU)

Docente: **Francesco LECCESE**

REGISTRO DELLE LEZIONI, DELLE ESERCITAZIONI E DEI LABORATORI

N.01- 07/03/2011 (ore 13.30-14.30)
Presentazione del Corso. Sistema, Esterno, Scambi. Grandezze estensive ed intensive. Stati di equilibrio.
N.02- 08/03/2011 (ore 8.30-9.30)
Primo principio della Termodinamica per i sistemi chiusi. La funzione di stato Energia interna (U). Primo principio per sistemi aperti a più bocche.
N.03- 08/03/2011 (ore 9.30-10.30)
Lavoro netto e lavoro di pulsione. La funzione di stato Entalpia (I). Sistemi aperti in condizioni stazionarie. Trasformazioni reversibili ed irreversibili.
N.04- 08/03/2011 (ore 10.30-11.30)
Valutazione dello scambio dinamico. Secondo principio della Termodinamica per i sistemi chiusi. La funzione di stato Entropia (S).
N.05- 09/03/2011 (ore 13.30-14.30)
Espressione generale per il lavoro netto. Eq. di Bernoulli. La laminazione.
N.06- 09/03/2011 (ore 14.30-15.30)
Sistemi a due variabili. Espressioni fondamentali per il dU e dI. Calori specifici.
N.07- 11/03/2011 (ore 10.30-11.30)
Gas perfetti: relazioni notevoli. Trasformazioni isoterme ed isoentropiche.
N.08- 11/03/2011 (ore 11.30-12.30)
Cambiamenti di fase di una sostanza pura. Diagramma pV per un fluido bifase. Calori latenti. Titolo. Calcolo delle funzioni I, S e U per i vapori.

LAB-N.01- 14/03/2011 (ore 13.30-14.30)
Unità di misura (Sistema SI). Semplici problemi di termodinamica.
N.09- 15/03/2011 (ore 8.30-9.30)
Diagrammi tecnici TS e pI per fluidi monofase e fluidi bifase. Macchine frigorifere: generalità.
N.10- 15/03/2011 (ore 9.30-10.30)
Macchina frigorifera a compressione di vapore. Pompa di calore.
N.11- 15/03/2011 (ore 10.30-11.30)
Dimensionamento di una macchina frigorifera. Esercizi sui vapori saturi ed uso di tabelle per l'acqua.
LAB-N.02- 16/03/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema su di una macchina frigorifera a R134a.
LAB-N.03- 16/03/2011 (ore 14.30-15.30)
I fluidi refrigeranti: nomenclatura, indicatori di impatto ambientale.
N.12- 18/03/2011 (ore 8.30-9.30)
Termofluodinamica: generalità. Perdite di carico per attrito. Coefficienti di viscosità. Numero di Reynolds. Moto laminare e turbolento.
N.13- 18/03/2011 (ore 9.30-10.30)
Il fattore di attrito nei tubi. Diagramma di Moody. Perdite di carico localizzate. Moti dei fluidi per differenze di temperatura in circuiti aperti: camini e canne di ventilazione.

LAB-N.04- 21/03/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema sul riscaldamento ad aria calda di una sala.
N.14- 22/03/2011 (ore 8.30-9.30)
La miscela aria-vapore (aria umida): generalità, densità, umidità assoluta, titolo, umidità relativa, grado di saturazione.
N.15- 22/03/2011 (ore 9.30-10.30)
Entalpia dell'aria umida. Diagramma di Mollier per l'aria umida.
N.16- 22/03/2011 (ore 10.30-11.30)
Semplici problemi sull'aria umida e uso pratico del diagramma di Mollier. Misura dell'umidità relativa.

XXX- 23/03/2011 (ore 13.30-15.30)
Lezione sospesa per indisponibilità del Docente
LAB-N.05- 25/03/2011 (ore 8.30-9.30)
Le combustioni: PCI e PCS. Rendimento di un generatore di calore. Caldaie a condensazione.
LAB-N.06- 25/03/2011 (ore 9.30-10.30)
Problema su di una pompa di calore a R134a per il riscaldamento di un ambiente.

LAB-N.07- 28/03/2011 (ore 13.30-14.30)
La ventilazione naturale degli ambienti: generalità, la zona neutra.
N.17- 29/03/2011 (ore 8.30-9.30)
Trasformazioni a titolo costante. Temperatura di rugiada. Miscelamento di due portate di aria umida.
N.18- 29/03/2011 (ore 9.30-10.30)
Deumidificazione. Fattore di by-pass di una batteria.
N.19- 29/03/2011 (ore 10.30-11.30)
Miscelamento di aria umida con acqua o vapore, il rapporto $\Delta I/\Delta x$. Umidificatori.
LAB-N.08- 30/03/2011 (ore 13.30-14.30)
Prestazioni energetiche di facciate e coperture ventilate.
LAB-N.09- 30/03/2011 (ore 14.30-15.30)
I dati climatici. Gradi giorno e zone climatiche.
N.20- 01/04/2011 (ore 8.30-9.30)
Il condizionamento dell'aria: generalità. I carichi termoigrometrici. Regime del locale condizionato. Il fattore termico R. La retta di lavoro.
N.21- 01/04/2011 (ore 9.30-10.30)
Calcolo delle portate d'aria. I trattamenti dell'aria nel condizionamento estivo ed invernale. Esempi.

LAB-N.10- 04/04/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema sul condizionamento estivo di una sala.
N.22- 05/04/2011 (ore 8.30-9.30)
Trasmissione del calore: generalità. La conduzione e il postulato di Fourier. Relazioni fondamentali per la convezione e l'irraggiamento.
N.23- 05/04/2011 (ore 9.30-10.30)
Coefficiente di scambio termico liminare. Equazione di bilancio per la trasmissione del calore.
N.24- 05/04/2011 (ore 10.30-11.30)
Parete piana omogenea: resistenza termica, andamento della temperatura. Pareti multistrato. Pareti con intercapedine d'aria.
LAB-N.11- 06/04/2011 (ore 13.30-14.30)
Problema sul condizionamento estivo di una sala (*continuazione*). La trasmittanza termica limite: D.Lgs. 192/05 (e s.m.i.).
LAB-N.12- 06/04/2011 (ore 14.30-15.30)
Caratteristiche termofisiche di materiali e strutture edilizie. I materiali isolanti. La normativa.
N.25- 08/04/2011 (ore 8.30-9.30)
La condensa nelle murature. Dimensionamento igrometrico di una parete.
N.26- 08/04/2011 (ore 9.30-10.30)
Problemi di trasmissione del calore attraverso le strutture edilizie. Esempi: parete in pietra, parete in cls alleggerito.

LAB-N.13- 11/04/2011 (ore 13.30-14.30)
I ponti termici in edilizia. La normativa. Misura in opera della resistenza termica di pareti: il termoflussimetro.
N.27- 12/04/2011 (ore 8.30-9.30)
Parete opaca insolata: la temperatura sole-aria.
N.28- 12/04/2011 (ore 9.30-10.30)
Equazione di Fourier per la conduzione. Problema della parete piana con sorgente.
N.29- 12/04/2011 (ore 10.30-11.30)
Transitori termici: numero di Biot e analisi a parametri concentrati. Esempi.
LAB-N.14- 13/04/2011 (ore 13.30-14.30)
Problemi di isolamento termico delle pareti: isolante interno, in intercapedine, esterno (a cappotto).
LAB-N.15- 13/04/2011 (ore 14.30-15.30)
I vetri nell'edilizia. Problema sulle pareti vetrate insolate: vetro singolo, vetro doppio, fattore di guadagno solare.
N.30- 15/04/2011 (ore 8.30-9.30)
La convezione: generalità. Il coefficiente di scambio termico convettivo.
N.31- 15/04/2011 (ore 9.30-10.30)
I numeri di Reynolds, Prandtl, Grashof e Nusselt. Scambiatori di calore: generalità e tipi.

Insegnamento di **Fisica Tecnica Ambientale**

(Università di Pisa – Corso di Laurea in INGEGNERIA EDILE)

BIBLIOGRAFIA

a)- Termodinamica

- Cengel Y.A., Boles M.A., **Thermodynamics – An engineering approach**. McGraw Hill (New York).
- Cavallini A., Mattarolo L., **Termodinamica applicata**. CLEUP (Padova).

b)- Aria Umida e Condizionamento dell'Aria

- Bellia L., Mazzei P., Minichiello F., Palma D., **Aria umida – Climatizzazione ed involucro edilizio**. Liguori (Napoli).
- Alfano G., Filippi M., Sacchi E., **Impianti di climatizzazione per l'edilizia**. Masson (Milano).
- Briganti A., **Il condizionamento dell'aria**. Tecniche Nuove (Milano).

c)- Trasmissione del calore

- Cengel Y.A., **Heat Transfer – A practical approach**. McGraw-Hill (New York).
- Kreith F., **Principi di trasmissione del calore**. Liguori (Napoli).
- Bonacina C., Cavallini A., Mattarolo L., **Trasmissione del calore**. CLEUP (Padova)

d)- Illuminotecnica

- Bianchi F., Pulcini G., **Manuale di illuminotecnica**. NIS (Roma).
- Forcolini G., **Lighting**. Hoepli (Milano).
- Aghemo C., Lo Verso V., **Guida alla progettazione dell'illuminazione naturale**. AIDI (Milano)

e)- Acustica tecnica

- Cirillo E., **Acustica applicata**. McGraw-Hill (Milano).
- Spagnolo R. (a cura di), **Manuale di Acustica**. CittàStudi (Bologna).
- Hamayon L., **L'acustica nell'edificio**. Sistemi Editoriali (Napoli)

Per approfondire alcuni degli argomenti trattati ai punti (a-c) si vedano anche i seguenti testi.

-. Filippi M., Rizzo G. (a cura di): «*Certificazione energetica e verifica ambientale degli edifici - Valutazione delle prestazioni energetiche e della sostenibilità delle scelte progettuali*», Flaccovio (Palermo), 2007:

- Tuoni G., Ciampi M., Fantozzi F., Leccese F., **Sul progetto delle pareti esterne opache e delle strutture interne degli edifici in regime termico dinamico**, pp. 146-166 (in Cap. 2 – La certificazione energetica, Par. 2.2 – Approfondimenti);
- Tuoni G., Ciampi M., Fantozzi F., Leccese F., **Edifici a bassi consumi energetici, casi studio: casa unifamiliare in legno ed edificio multipiano per appartamenti**, pp. 195-210 (in Cap. 2 – La certificazione energetica, Par. 2.3 – Applicazioni).

-. AA:VV.: «*Prestazioni estive degli edifici*», Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e Acustico (ANIT), Collana: L'isolamento termico e acustico, Vol. 5, TEP (Milano), 2010:

- Leccese F., Tuoni G., **Caratteristiche termiche dinamiche delle pareti – Ottimizzazione delle pareti multistrato**, pp. 87-103 (in Parte 3 – Cap. 2);
- Leccese F., Tuoni G., **Facciate e coperture ventilate**, pp. 104-134 (in Parte 4 e Parte 6 – Appendice B).