

# INGEGNERIA INDUSTRIALE (LB09)

(Lecce - Università degli Studi)

## Insegnamento LABORATORIO DI MACCHINE A FLUIDO

GenCod A005414

**Docente titolare** GIOVANNI MANENTE

**Docenti responsabili dell'erogazione**  
GIOVANNI MANENTE, Luciano  
STRAFELLA

**Insegnamento** LABORATORIO DI  
MACCHINE A FLUIDO

**Insegnamento in inglese** LABORATORY OF  
FLUID MACHINES

**Settore disciplinare** ING-IND/08

**Corso di studi di riferimento**  
INGEGNERIA INDUSTRIALE

**Tipo corso di studi** Laurea

**Crediti** 6.0

**Ripartizione oraria** Ore Attività frontale: 54.0

**Per immatricolati nel** 2019/2020

**Erogato nel** 2021/2022

**Anno di corso** 3

**Lingua** ITALIANO

**Percorso** Curriculum Impresa 4.0 -  
meccanica

**Sede** Lecce

**Periodo** Secondo Semestre

**Tipo esame** Orale

**Valutazione** Voto Finale

**Orario dell'insegnamento**

<https://easyroom.unisalento.it/Orario>

### BREVE DESCRIZIONE DEL CORSO

Nel corso vengono trattati gli strumenti e le tecniche di misura utilizzati nell'ambito delle macchine a fluido e dei sistemi energetici. Viene inizialmente presentato il concetto di misura e vengono descritti gli elementi funzionali di uno strumento generico di misurazione, sono poi introdotti dei criteri di classificazione degli strumenti, i sistemi di unità di misura e le problematiche relative all'errore di misura. Vengono presentate le caratteristiche statiche più significative e comunemente utilizzate al fine di descrivere le prestazioni di uno strumento di misura, unitamente al processo di taratura statica. Viene poi presentato il modello matematico generale per descrivere il comportamento dinamico dei sistemi di misura e viene introdotto il concetto di funzione di trasferimento. Vengono presentati i modelli matematici di strumenti elementari, la loro risposta ad ingressi canonici e le principali caratteristiche dinamiche. Viene estesa l'analisi della risposta dinamica anche ad ingressi più complessi di tipo periodico o transitorio tramite il calcolo degli spettri in frequenza, sono inoltre studiate le tecniche di elaborazione ed analisi dei dati sperimentali. Nella seconda parte del corso vengono affrontati più nello specifico i principi di funzionamento e le caratteristiche degli strumenti di misura più utilizzati in ambito macchinistico. In questo ambito vengono anche presentati alcuni metodi di condizionamento dei segnali generati dai sistemi di misura, in particolare i circuiti a ponte, i filtri di frequenza, e alcuni cenni sui metodi di registrazione dei dati.

### PREREQUISITI

Conoscenze di base di Statistica, Fisica Tecnica, Elettrotecnica, Meccanica dei Fluidi, Meccanica dei Solidi, Macchine a Fluido.

---

## OBIETTIVI FORMATIVI

### **COMPETENZE SPECIFICHE**

Il corso ha l'obiettivo di far conoscere allo studente le problematiche riguardanti la caratterizzazione sperimentale delle macchine a fluido. Al termine del corso lo studente dovrà conoscere le funzionalità degli strumenti di misura utilizzati in laboratorio per il rilievo di grandezze caratterizzanti le macchine a fluido e i sistemi energetici; dovrà essere in grado di scegliere opportunamente gli strumenti e le tecniche più adeguati per l'esecuzione di misure, saper elaborare ed interpretare i dati sperimentali, saper utilizzare degli strumenti software per il post processing dei dati acquisiti.

### **COMPETENZE TRASVERSALI**

Lo studente svilupperà capacità critiche e di giudizio attraverso la conduzione di prove sperimentali al banco e la successiva elaborazione ed analisi dei dati attraverso strumenti software proposti dal docente, acquisirà inoltre delle competenze di base sulla modellazione di sistemi dinamici tramite l'analisi della risposta dinamica degli strumenti di misura condotta in laboratorio di calcolo avanzato. Tali attività saranno sintetizzate attraverso degli elaborati che contribuiranno a sviluppare anche la capacità di presentare i risultati in modo adeguato.

---

## METODI DIDATTICI

Le attività didattiche includono lezioni frontali, esercitazioni svolte in aula, esercitazioni svolte nel laboratorio di calcolo avanzato ed attività sperimentali condotte nel laboratorio di motori a combustione interna e nel laboratorio didattico di macchine a fluido. Le lezioni sono svolte con l'ausilio della tavoletta grafica e del pc collegato al proiettore che consente di presentare in modo efficace i contenuti sia agli studenti in presenza che agli studenti a distanza. Le attività di laboratorio consistono nel condurre prove su attrezzature sperimentali e nell'acquisizione di dati. Le esercitazioni consistono nell'elaborazione dei dati acquisiti mediante software specifici (Excel e Matlab/Simulink). Per quanto riguarda l'erogazione della didattica a distanza, lo svolgimento delle lezioni e delle esercitazioni avviene in modalità sincrona secondo l'orario ufficiale, ma le lezioni vengono registrate e rese disponibili agli studenti anche per una fruizione asincrona. Le attività sperimentali di laboratorio di motori a combustione interne saranno condotte in presenza mentre quelle di macchine a fluido saranno condotte sia in presenza che mediante video pre-registrati dal docente.

## MODALITA' D'ESAME

La valutazione sarà effettuata mediante esame scritto individuale. La prova scritta sarà articolata in una serie di domande volte a valutare la conoscenza degli argomenti presentati, la capacità di analisi critica di scelte progettuali adottate nei casi studio proposti dal docente, la capacità di esporre con proprietà di linguaggio. Per l'esame lo studente dovrà inoltre preparare una relazione contenente le esercitazioni svolte durante il corso, contenenti ipotesi di lavoro, scelte progettuali e risultati ottenuti.

Nella valutazione verrà seguita la seguente griglia:

### Voto < 18 insufficiente

Conoscenze frammentarie e superficiali dei contenuti, errori nell'applicare i principi fisici alla base del funzionamento dei vari strumenti di misura, esposizione carente.

### Voto 18 - 20

Conoscenza dei contenuti sufficiente ma poco approfondita, incertezze nell'applicazione dei principi fisici alla base del funzionamento dei vari strumenti di misura, esposizione dei contenuti in modo semplice con qualche imprecisione terminologica.

### Voto 21 - 23

Conoscenze dei contenuti appropriate ma non approfondite, sufficiente capacità di applicare i principi fisici alla base del funzionamento dei vari strumenti di misura, capacità di presentare i contenuti in modo semplice ma sostanzialmente corretto.

### Voto 24 - 25

Conoscenze dei contenuti appropriate ed ampie, discreta capacità di applicare i principi fisici alla base del funzionamento dei vari strumenti di misura, capacità di presentare i contenuti in modo corretto.

### Voto 26 - 27

Conoscenze dei contenuti precise e complete, buona capacità di applicare i principi fisici alla base del funzionamento dei vari strumenti di misura, buona capacità di analisi, esposizione chiara e corretta.

### Voto 28 - 29

Conoscenze dei contenuti ampie, complete ed approfondite, buona applicazione dei principi fisici alla base del funzionamento dei vari strumenti di misura, buona capacità di analisi e di sintesi, esposizione sicura e corretta.

### Voto 30, 30 e lode

Conoscenze dei contenuti molto ampie, complete ed approfondite, capacità ben consolidata di applicazione dei principi fisici alla base del funzionamento dei vari strumenti di misura, ottima capacità di analisi, di sintesi e di collegamento, padronanza di esposizione.

### **Concetti introduttivi**

Generalità del concetto di misura: definizioni e normativa. Configurazioni generali di strumenti di misura e schemi a blocchi funzionali. Applicazioni di strumentazioni in vari campi: esempi.

### **I sistemi di unità di misura**

Cenni storici. Grandezze fisiche fondamentali e derivate. Sistemi assoluti e sistemi tecnici. Il Sistema Internazionale. Riferibilità di una misura.

### **Incertezza di Misura**

Definizione e rappresentazione della misura. Normativa di riferimento. Definizione, rappresentazione e calcolo dell'incertezza di misura. Incertezza di misura estesa e sua propagazione.

### **Caratteristiche statiche di uno strumento**

Taratura statica e curva di taratura. Elaborazione statistica dei dati. Caratteristiche metrologiche: accuratezza, sensibilità, soglia, risoluzione, isteresi, linearità. Incertezza: definizioni e normativa, analisi e determinazione.

### **Caratteristiche dinamiche di uno strumento**

Rappresentazione analitica del comportamento dinamico di uno strumento. Richiami ai metodi di soluzione delle equazioni differenziali ordinarie, lineari, a coefficienti costanti. Funzioni di trasferimento: operazionale, laplaciana, sinusoidale.

Risposta dinamica di strumenti elementari a vari tipi di ingresso. Strumenti di ordine zero: equazione, esempio di strumento (potenziometro), risposta ad ingressi canonici: gradino, risposta in frequenza. Strumenti del primo ordine: equazione, esempio di strumento (termometro a colonna di liquido), risposta ad ingressi canonici: gradino, rampa, risposta in frequenza, impulso. Strumenti del secondo ordine: equazione, esempio di strumento (dinamometro a molla), risposta ad ingressi canonici: gradino, rampa, risposta in frequenza, impulso. Strumenti a tempo morto: equazione, esempio di strumento (trasmissione di segnali pneumatici), risposta ad ingressi canonici: gradino, rampa, risposta in frequenza, impulso.

### **Elementi di analisi del segnale**

Segnali periodici, transitori e casuali. Risposta di uno strumento generico a un ingresso periodico: serie di Fourier, spettro (discreto) del segnale in ingresso, spettro (discreto) del segnale di uscita. Risposta di uno strumento generico a un ingresso transitorio: trasformata diretta di Fourier, spettro (continuo) del segnale in ingresso, spettro (continuo) del segnale di uscita, trasformata inversa di Fourier.

### **Filtri di frequenza**

Filtri passa-basso (del primo e secondo ordine), Filtri passa-alto, Filtri passa banda, Filtri soppressori di banda.

### **Campionamento**

Segnali analogici e segnali digitali, Conversione analogico-digitale, Frequenza di campionamento, Errore di aliasing.

### **Misure di spostamento relativo**

Potenziometri, Trasformatori differenziali, Trasduttori a variazione di induttanza, Encoders incrementali e assoluti.

### **Misure di velocità relativa angolare e traslazionale**

Basate su captatori di prossimità a riluttanza variabile o a effetto Hall, Basate su encoders, Flyball, Metodi stroboscopici, Tachimetri a correnti parassite, Sonde a bobina mobile.

### **Misure di deformazione**

Estensimetri elettrici, Trasduttori piezoelettrici.

### **Misure di spostamento, velocità e accelerazione assoluti**

Strumenti inerziali o sismici. Sensori di spostamento sismici (vibrometri). Sonde sismiche per la misura di velocità. Sonde sismiche di accelerazione (accelerometri). Tipologie di accelerometri a deflessione. Accelerometri piezoelettrici.

### **Misure di forza, coppia e potenza**

Bilance: analitica, a pendolo, a piattaforma (stadera), elettromagnetica. Celle di carico: a deflessione, estensimetriche, piezoelettriche, pneumatiche, idrauliche. Torsiometri.

#### **Misure di portata dei fluidi**

Misuratori di portata a strozzamento: diaframma, boccaglio, tubo di venturi, elementi a flusso laminare. Rotametri, Misuratori a turbina, Misuratori di portata elettromagnetici, Misuratori ad ultrasuoni (a tempo di transito o basati sull'effetto Doppler), Misuratori di flusso a distacco di vortici.

#### **Misure di velocità dei fluidi**

Tubo di Pitot e tubo statico di Pitot. Anemometri a filo (o a film) caldo: a corrente costante e a temperatura costante.

#### **Misure di pressione**

Manometro differenziale, manometro Bourdon.

#### **Misure di temperatura**

Termometri a espansione: a liquido in vetro, bimetallici, a pressione. Termocoppie. Termoresistenze. Termistori.

#### **Laboratorio informatico**

Sviluppo di modelli in ambiente Matlab/Simulink di strumenti di misura del primo ordine e del secondo ordine e analisi della risposta ad ingressi canonici: gradino, rampa, sinusoidale, impulso. Sviluppo di un modello in ambiente Matlab/Simulink per il calcolo dello spettro in frequenza di segnali periodici.

#### **Laboratorio Motori a combustione interna**

Testing sulla caratterizzazione del motore a combustione interna al variare del regime di rotazione e del carico. Utilizzo degli strumenti di misura introdotti nel corso, acquisizione ed elaborazione dei segnali.

#### **Laboratorio didattico elettropompa**

Caratterizzazione di un'elettropompa, in configurazione serie/parallelo, al variare della caratteristica dell'impianto esterno. Utilizzo e lettura delle misure con strumenti introdotti durante il corso.

---

## TESTI DI RIFERIMENTO

#### **Testo di riferimento:**

E.O. Doebelin, *Strumenti e Metodi di misura*, Seconda Edizione, McGraw Hill, 2008.

#### **Altri testi di consultazione:**

R.S. Figliola, D.E. Beasley, *Theory and design for Mechanical Measurements*, 7a edizione, Wiley, 2019.

G. Minelli, *Misure Meccaniche*, 2a Edizione, Patron Editore, 1974.

G.L. Berta, A. Vacca, *Sperimentazione sui motori a combustione interna*, Monte Università Parma Editore, 2005.

A. Zanobini, S. Giovannetti, *Incertezza di Misura e Acquisizione dei Segnali - Teoria ed esercizi risolti*, Società editrice Esculapio, 2013

P.M. Azzoni, *Strumenti e misure per l'ingegneria meccanica - Avvio alla comprensione delle moderne tecniche sperimentali*, Hoepli, 2006

G. Rossi, *Misure meccaniche e termiche: basi teoriche e principali sensori e strumenti*, Carocci, 2010.

F. Angrilli, *Corso di misure meccaniche, termiche e collaudi*, Volumi I e II, 2a Edizione, Cedom 2005.

G. Fanti, *Teoria e pratica della misurazione*, Edizioni Libreria Progetto, 2018

A.J. Wheeler, A.R. Ganji, *Introduction to Engineering Experimentation*, 3a Edizione, Pearson College Div., 2010.

A.S. Morris, *Measurement and Instrumentation Principles*, 3a Edizione, Butterworth Heinemann, 2001.

J.P. Holman, *Experimental Methods for Engineers*, 8a Edizione, McGraw-Hill, 2012.

E.O. Doebelin, *System Dynamics: Modeling, Analysis, Simulation*, Design, Marcel Dekker, 1998.

J.W. Dally, W.F. Riley, K.G. McConnell, *Instrumentation for Engineering Measurements*, Wiley, 1984.