

---

# Sperimentazione sulle macchine

## Finalità

Il corso fornisce un approccio basilare alla materia delle misure e dei collaudi sulle macchine. Da un primo esame funzionale del generico sistema di misurazione, si descrivono i parametri fondamentali che ne caratterizzano il funzionamento e le metodologie per l'analisi del comportamento nelle condizioni d'impiego stazionarie e non. Successivamente si presentano i principali strumenti impiegati nell'ambito dei collaudi delle macchine, con esempi di applicazione per il collaudo di macchine a fluido.

## Programma

### **Richiami generali**

#### **Concetto di Misura**

Definizioni. Modello specifico e dettagliato alla base del processo di misurazione

#### **Sistemi di Unità di Misura**

Grandezze fisiche fondamentali e derivate. Sistemi del passato e il Sistema Internazionale

#### **Qualità della Misura**

Concetto di precisione: errore ed incertezza. Errori sistematici e casuali

Valutazione dell'errore residuo:

metodo a priori: errori di lettura, di mobilità, di isteresi, di fedeltà, di zero, di taratura

metodo a posteriori. Distribuzione di Gauss. Stima della media da campioni di misure, distribuzione di Student. Criterio di Chauvenet. Analisi di normalità della distribuzione

Propagazione dell'incertezza. Formula di Kline-McClintock. Metodo della perturbazione sequenziale

Incertezza in fase di progetto, nella misura singola e nelle misure multiple

#### **Sistemi di misurazione**

Le misure secondo la loro finalità. Analisi funzionale dello strumento

Trasduttore elementare. Impedenze meccaniche

Errori di carico o inserzione

Disturbi interferenti e modificanti. Riduzione degli errori dovuti ad ingressi di disturbo

#### **Analisi delle prestazioni statiche e dinamiche degli strumenti**

Qualità metrologiche dello strumento. Taratura statica e dinamica

Caratteristiche statiche: Sensibilità statica. Linearità

Caratteristiche dinamiche:

Rappresentazione analitica del comportamento dinamico dello strumento

Evoluzione libera e risposta forzata; metodo della trasformata di Laplace

Funzione di trasferimento

Funzione di trasferimento sinusoidale, diagrammi di Bode e di Nyquist

Strumenti elementari: di ordine zero, a tempo morto, del primo ordine, del secondo ordine

Risposta ad un ingresso periodico e non periodico

Determinazione sperimentale dei parametri caratteristici in fase di taratura

#### **Misure di Pressione**

Manometri a deformazione di elementi elastici (a tubo di Bourdon, a membrana, a capsula)

Manometri a dislivello di liquidi

Manometri differenziali (a campana, cella Barton, a toro pendolare, capacitivo)

Strumenti assoluti: manometro a pistone a peso diretto, manometro di MacLeod

Manometro di Knudsen

Indicatore di Watt. Indicatori stroboscopici

Trasduttori di pressione, trasduttori piezoelettrici

Effetti dinamici dei volumi e dei condotti di connessione

Misura della pressione statica e di ristagno nei fluidi

#### **Misure di Temperatura**

Scale Internazionale Pratica di Temperatura

Termometri a dilatazione (di liquido, di gas, di vapore saturo, bimetallici)

Termometri a coppia termoelettrica. Compensazione della temperatura del giunto freddo. Misura della forza elettromotrice

Termometri a resistenza elettrica

Termistori

Pirometri ad irraggiamento totale e parziale (monocromatico, a temperatura del colore)

Altri metodi di misura della temperatura (metodi basati sul rumore di fondo e sul punto di Curie, campioni Seger, cristalli liquidi)

Misure di temperatura nei flussi. Errori di conduzione e per irraggiamento, effetti della velocità

#### **Misure di Flusso**

Metodi qualitativi di visualizzazione del flusso

Misure di velocità

Tubo di Pitot. Determinazione della direzione della velocità

---

Anemometri a filo e a film caldo  
Cenni alla tecnica Laser Doppler  
Misure di portata  
Misura della portata volumetrica  
Gasometro. Contatori per gas: a liquido, a soffietto, a lobi  
Contatori per liquidi  
Dispositivo a burette tarate  
Mulinelli e misuratori a turbina  
Misura della portata massica  
Metodi a strozzamento  
Rotametri  
Misuratore a flusso laminare, per pesata, a galleggiante, a ponte, a forza di Coriolis  
Dispositivi a spinta di fluido

#### Attività d'esercitazione

Nella seconda parte del corso verranno effettuate esercitazioni a gruppi relative al collaudo di pompe centrifughe e ventilatori di piccolo taglia, su attrezzature disponibili presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Industriale.  
Visita presso un banco prova industriale per la caratterizzazione di pompe e motori oleodinamico.

#### Modalità d'esame

L'esame consta di una prova orale sugli argomenti trattati durante le lezioni teoriche e, eventualmente su una discussione dei risultati ottenuti dalle esercitazioni svolte in laboratorio

#### Propedeuticità

nessuna

#### Testi consigliati

1. Angrilli, F., 1996, Appunti di Misure Meccaniche e Termiche Ed. CUSL Nuova Vita, Padova
2. Doebelin, E. O., 1990, Measurement System – Application and Design 4th edition, McGraw-Hill.
3. Minelli, G. 1974, Misure Meccaniche, Ed. Patron