



## UNIVERSITÀ DI PISA

### MECCANICA APPLICATA

---

#### ENRICO CIULLI

Academic year	2021/22
Course	INGEGNERIA GESTIONALE
Code	044II
Credits	6

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	ING-IND/13	LEZIONI	60	ENRICO CIULLI

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Obiettivi dell'insegnamento sono portare lo studente a:  
conoscere e comprendere il funzionamento dei più comuni meccanismi e macchine;  
familiarizzare con le problematiche legate agli accoppiamenti fra elementi di macchine, sia lubrificati sia a secco, comprendendo l'importanza degli aspetti legati ad attrito, usura e lubrificazione ai fini del risparmio energetico e della riduzione dei costi per manutenzione e guasti di impianti industriali;  
conoscere i principali tipi di trasmissione meccaniche;  
conoscere gli aspetti fondamentali della dinamica delle macchine e della meccanica delle vibrazioni.

##### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Per l'accertamento delle conoscenze sarà svolta una prova finale.

##### *Capacità*

Al termine del corso:  
lo studente sarà in grado di effettuare i collegamenti fra le conoscenze di base (matematica, fisica) e quelle applicate;  
lo studente sarà in grado di comprendere ed affrontare problemi ingegneristici grazie alle basi e all'ampia casistica di elementi meccanici forniti;  
lo studente avrà una professionalità immediatamente spendibile in ogni azienda.

##### *Modalità di verifica delle capacità*

Durante la verifica finale lo studente deve dimostrare la sua conoscenza degli argomenti trattati nel corso e di saper svolgere semplici esercizi ad essi collegati.

##### *Comportamenti*

Lo studente potrà acquisire e/o sviluppare sensibilità alle problematiche ingegneristiche di tipo meccanico. In particolare dovrebbe acquisire la capacità di affrontare problematiche diverse.

##### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Durante l'esame finale saranno verificati:  
la comprensione dei concetti fondamentali della meccanica;



## UNIVERSITÀ DI PISA

l'aver studiato in maniera adeguata i vari argomenti del programma;  
l'assenza di lacune di base di matematica e fisica (tali da non consentire la comprensione e la soluzione dei problemi di meccanica).

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Per affrontare con profitto lo studio della materia e l'esame sono fondamentali conoscenze di base di matematica e fisica, quali trigonometria, soluzione di equazioni e sistemi di equazioni, studi di funzione, derivazione e integrazione, algebra vettoriale, equazioni differenziali lineari omogenee a coefficienti costanti, grandezze fisiche e unità di misura, cinematica e la dinamica del punto materiale, equazioni fondamentali di quantità di moto, impulso, lavoro, energia e potenza, momenti d'inerzia.

### Indicazioni metodologiche

La metodologia didattica impiegata consiste in lezioni ed esercitazioni in aula.

Gli argomenti in programma sono trattati con lezioni frontali alla lavagna riguardanti gli aspetti generali, sia teorici sia pratici, intervallate da esercitazioni in cui sono svolti esempi applicativi e sono mostrati reali componenti di macchine. Quando possibile, nella parte conclusiva del corso vengono anche effettuate, con la collaborazione di un codocente, visite a gruppi ai laboratori per una panoramica di applicazioni degli argomenti del corso. È normalmente previsto un ricevimento settimanale.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

**Elementi di base** - Richiami alle grandezze vettoriali. Operazioni fra vettori; soluzioni grafiche e analitiche.

**Macchine e meccanismi** - Definizioni generali. Componenti delle macchine. Collegamenti fra elementi di macchine. Coppie cinematiche, gradi di libertà di meccanismi piani e meccanismi nello spazio. Condizioni di regime assoluto e periodico, rendimento, moto retrogrado, macchine in serie ed in parallelo.

**Cinematica** - Moto piano di un corpo rigido: relazione fra velocità di punti diversi, centro di istantanea rotazione nel moto assoluto e nel moto relativo, primitive del moto, polari fissa e mobile; relazione fra accelerazioni di punti di uno stesso corpo rigido, teorema di Rivals e centro delle accelerazioni; traiettorie, circonferenza dei flessi. Studio del manovellismo di spinta per via analitica: velocità ed accelerazione del piede di biella; andamenti delle varie grandezze in funzione dell'angolo di manovella. Metodo analitico per lo studio di meccanismi più complessi: esempio del quadrilatero articolato; parallelogrammi articolati.

**Meccanica dei contatti** - Generalità sull'attrito, aspetti microscopici. Attrito statico: coefficiente d'aderenza. Attrito di strisciamento: coefficiente d'attrito cinetico, leggi di Coulomb, lavoro perso per attrito. Attrito di rotolamento: cenni alla teoria di Hertz, coefficiente d'attrito volvente. Applicazioni di ipotesi e leggi a coppie elementari (prismatica, rotoidale, elicoidale) e a semplici meccanismi (manovellismo di spinta centrato, cuscinetti volventi, ruote di un veicolo in movimento, problemi di ribaltamento e di impuntamento). Usura: concetti e leggi fondamentali, determinazione della pressione di contatto fra solidi in moto relativo (freni e frizioni). Attrezzature e strumentazione per prove di attrito e usura.

**Contatti lubrificati** - Generalità su lubrificazione e lubrificanti. Teoria elementare della lubrificazione: ipotesi ed equazioni fondamentali. Esempi di soluzione dell'equazione di Reynolds nel caso piano: lubrificazione idrodinamica, per accostamento e idrostatica. Verifica di una corretta lubrificazione: curva di Stribeck e altezza specifica del meato; effetti termici. Cuscinetti lubrificati: idrodinamici e idrostatici, di spinta e portanti. Elementi essenziali di ulteriori aspetti della lubrificazione (lubrificazione elastoidrodinamica, con lubrificanti gassosi, a grasso). Indicazioni sui criteri di scelta di un cuscinetto. Attrezzature e strumentazione per prove su componenti lubrificati.

## UNIVERSITÀ DI PISA

**Trasmissioni meccaniche** - Ruote dentate. Trasmissione del moto fra assi paralleli: ruote dentate cilindriche a denti diritti con profilo ad evolvente, rapporto di trasmissione, coppia rocchetto-dentiera, definizioni e proporzionamento di ruote normali; cenni su linea di contatto e arco di azione, condizione di non interferenza e correzione; rendimento. Ruote a denti elicoidali; coppia vite-ruota elicoidale (trasmissione del moto fra assi sghembi), rapporto di trasmissione. Trasmissione del moto fra assi incidenti: ruote dentate coniche, rapporto di trasmissione. Rotismi ordinari e rotismi epicicloidali: esempi di rotismi e valutazione del rapporto di trasmissione (riduttori, differenziale). Camme. Giunti rigidi, elastici, di Oldham, di Cardano semplice e doppio: indicazioni sui rapporti di trasmissione. Organi flessibili (funi, catene cinghie, nastri): trasmissione del moto fra due alberi con cinghie; freni a nastro; macchine di sollevamento.

**Dinamica delle macchine** - Azioni inerziali ed energia cinetica di un corpo rigido. Equazioni fondamentali della dinamica delle macchine: Equazioni di D'Alembert, problema dinamico diretto ed inverso; equazione dell'energia; equivalenza dinamica. Applicazione al manovellismo di spinta: equilibrio dinamico, forze agenti sul telaio, compensazione delle forze d'inerzia. Energia cinetica del manovellismo di spinta. Problema della fluttuazione di velocità negli impianti funzionanti in regime periodico: grado di irregolarità.

**Dinamica dei sistemi vibranti** - Vibrazioni libere di sistemi ad un grado di libertà: equazione differenziale e leggi del moto nei casi di smorzamento superiore, inferiore ed uguale a quello critico. Vibrazioni forzate di sistemi ad un grado di libertà: ampiezza e fase dell'oscillazione a regime in funzione del rapporto fra pulsazione dell'azione eccitatrice e pulsazione propria del sistema; risonanza. Isolamento dalle vibrazioni: dimensionamento delle sospensioni. Introduzione ai sistemi a due e più gradi di libertà ed alla diagnostica industriale.

### Bibliografia e materiale didattico

Libro di testo: Enrico Ciulli, "Elementi di Meccanica", Pisa University Press, Pisa.

Per approfondimenti eventuali: E. Funaioli, A. Maggiore, U. Meneghetti, "Meccanica Applicata alle Macchine". Patron Editore, Bologna.

### Indicazioni per non frequentanti

Il libro di testo è generalmente sufficiente per comprendere gli aspetti base di tutti gli argomenti del programma per gli studenti che abbiano buone conoscenze di matematica e fisica.

### Modalità d'esame

L'esame è composto da una prova orale sul programma e sugli esercizi svolti a lezione e presenti nel materiale didattico.

La prova orale consiste normalmente in tre domande principali a cui il candidato può rispondere in parte per scritto (soprattutto se trattasi di equazioni e di impostazione e soluzione di esercizi) e in parte oralmente. Solitamente una domanda riguarda la cinematica, una la dinamica ed una uno qualsiasi degli altri argomenti.

La prova orale è superata se:

non sono riscontrate lacune di base di matematica e fisica tali da non consentire la comprensione e la soluzione dei problemi di meccanica;

il candidato mostra di aver compreso i concetti fondamentali della meccanica;

il candidato dimostra di aver studiato in maniera adeguata il programma.

Il voto finale tiene conto della preparazione mostrata dal candidato, sia in base allo studio effettuato, sia in base alla comprensione della materia. È considerata anche la capacità di esprimersi in un linguaggio tecnico appropriato.