

# Meccanica applicata alle macchine

per allievi del Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Prof. N.P. Belfiore

## Abstract delle lezioni

Aggiornato al 18 giugno 2004

Le seguenti unità sono state svolte, ognuna, nell'arco di due ore. Alcune lezioni sono ulteriormente documentate sul sito. Oltre a fornire un quadro d'insieme delle lezioni svolte, il seguente elenco costituisce, di fatto, il programma d'esame delle lezioni. Si invita lo studente a consultare, oltre gli appunti, anche i libri di testo. Ciò non solo al fine di un semplice approfondimento, ma anche per momento di riflessione indispensabile per la comprensione dei concetti di base.

### Unità n. 1 - Lezione N. 1 "Introduzione e concetti fondamentali"

Metodo: videoproiettore collegato al computer.

- 1) Illustrazione rapida dei prerequisiti richiesti per seguire il corso. Cinematica dell'elemento e del corpo rigido, Equazioni cardinali della statica e della dinamica, Elementi di geometria analitica, Geometria delle masse, Derivate, Integrali, Principi fondamentali della meccanica (quantità di moto e momento q.d.m, energia), Elementi di equazioni differenziali ordinarie ed alle derivate parziali, Disegno tecnico.
- 2) Illustrazione rapida degli argomenti trattati nel corso: topologia, cinematica, statica e dinamica dei sistemi di corpi rigidi (e Multibody). Organi di trasmissione. Ingranaggi. Tribologia e lubrificazione. Vibrazioni meccaniche.
- 3) Definizioni fondamentali per i meccanismi. Elemento cinematico. Coppia cinematica. Grado di libertà e di vincolo di una coppia. Tipi di coppie cinematiche. Classificazione delle coppie in inferiori e superiori. Definizione di catena cinematica e meccanismo.
- 4) Simbologia usata nella rappresentazione di coppie e catene cinematiche. Esempi di meccanismi.

### Unità n. 2 - Lezione N. 2 "Come funzionano i meccanismi".

Metodo: videoproiettore collegato al computer.

- 1) Formule per il calcolo dei gradi di libertà delle coppie cinematiche e dei meccanismi.
- 2) Topologia: rappresentazione poligonale, di Franke e mediante grafi.
- 3) Simulazione del moto di numerosi meccanismi articolati mediante programma multibody 2D.

Materiale didattico e complementare per le lezioni 1 e 2.

Testo [1]: Cap. 1;

Testo [4]: pp. 95 –105, pp. 118 – 121, pp. 122 –133, pp. 135 – 141;

Testo [3]: Numerosi esempi di meccanismi.

### Unità n. 3 - Lezione N. 3 "Che cosa è l'analisi cinematica".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

- 1) Riepilogo dettagliato di alcuni argomenti della cinematica razionale:
- 2) Velocità ed accelerazione di un elemento nella formulazione intrinseca,
- 3) Velocità ed accelerazioni di due elementi appartenenti al medesimo corpo rigido.
- 4) Moti relativi. Velocità ed accelerazioni di un elemento rispetto a due diversi sistemi di riferimento in moto relativo.
- 5) Moti piani
  - 6) Centro delle velocità, o di istantanea rotazione. Campo delle velocità.
  - 7) Esistenza ed unicità del centro delle accelerazioni. Campo delle accelerazioni.

#### Unità n. 4 - Esercitazione N. 1

#### “L’analisi cinematica con il metodo dei diagrammi polari”.

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Scale di rappresentazione. Risoluzione grafica di una equazione vettoriale nel piano: metodo dei diagrammi polari. Calcolo di velocità e accelerazioni.

Analisi cinematica del manovellismo. Posizione, campi delle velocità e delle accelerazioni dei membri mobili.

Analisi cinematica del quadrilatero articolato. Posizione, campi delle velocità e delle accelerazioni dei membri mobili.

#### Unità n. 5 - Lezione N. 4

#### “L’analisi delle traiettorie-Prima parte”.

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

- 1) Metodo dei diagrammi polari. Scale di rappresentazione.
- 2) Moti relativi.
- 3) Poli del primo  $P_0$  e secondo  $K$  ordine.
- 4) Le polari del primo ordine.
- 5) Deduzione della circonferenza dei flessi a partire dalla conoscenza dei poli del primo e secondo ordine.

#### Unità n. 6 - Lezione N. 5

#### “L’analisi delle traiettorie- Seconda parte”.

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

- 1) Accelerazioni del polo dei flessi e del centro delle velocità.
- 2) Deduzione della formula di Euler Savary nella “seconda formulazione”.
- 3) Euler Savary nella prima formulazione (non dimostrata).
- 4) Deduzione della circonferenza dei flessi (per altra via) dalla prima formula di Euler Savary.
- 5) Esempi: applicazione del metodo dei poli; applicazione della formula di Euler Savary nella 2a formulazione.

#### Unità n. 7 - Esercitazione N. 2

#### “L’analisi cinematica con il metodo dei poli – analisi delle traiettorie”.

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Analisi cinematica del moto di un punto la cui traiettoria sia una cicloide o una evolvente.  
Deduzione della traiettoria. Deduzione della velocità e dell'accelerazione del punto tracciante.  
Analisi cinematica del moto di un punto di biella.

Unità n. 8 - Lezione N. 5  
"La statica nei meccanismi".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

- 1) Riepilogo delle equazioni cardinali della statica
- 2) Esempi di meccanismi articolati in equilibrio statico.
- 3) Equilibrio di sistemi con coppie superiori.

Unità n. 9 - Esercitazione N. 3  
"Equilibrio di meccanismi: calcolo di forze e reazioni".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Risoluzione di problemi di statica di meccanismi labili.  
Statica delle leve con contatto di strisciamento.  
Statica della guida di Fairbairn.

Unità n. 10 - Lezione N. 6  
"Attrito ed usura – Parte Prima".

Metodo: videoproiettore.

- 1) L'attrito e l'usura nelle macchine.
- 2) Parametri statistici riguardanti la geometria delle superfici
- 3) Elementi di meccanica delle superfici: formule di Hertz. Determinazione della pressione massima, della deformazione normale e dell'areola di contatto.
- 4) Meccanismi di usura: adesiva, abrasiva, erosiva, fretting, fatica supercificale
- 5) Il coefficiente di attrito Coulombiano.

Unità n. 11 - Lezione N. 7  
"Attrito ed usura – Parte Seconda".

Metodo: videoproiettore.

- 1) Valutazione del coefficiente di attrito nell'ipotesi di usura adesiva.
- 2) Ipotesi di logoramento "energetica" secondo il Reye
- 3) Equazione di Archard
- 4) Attrito. Modello di Coulomb.
- 5) Attrito nella coppia rotoidale portante. Circonferenza di attrito.

Unità n. 12 - Lezione N. 8  
"Attrito ed usura – Parte Terza".

Metodo: videoproiettore.

- 1) Introduzione sui lubrificanti.
- 2) Gli additivi.
- 3) Caratteristiche degli oli lubrificanti.
- 4) Viscosità: sua dipendenza della temperatura e dalla pressione.
- 5) Viscosità, formula del Petroff.

Unità n. 13 - Lezione N. 9  
"Lubrificazione idrodinamica"

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Introduzione alla teoria monodimensionale del Reynolds.

Espressione della portata di fluido in un meato a facce piane parallele.

Necessità di un meato a spessore variabile per l'ottenimento della capacità portante.

Deduzione della espressione del gradiente delle pressioni.

Espressione della pressione, della forza sostentatrice, della forza tangenziale di attrito sulla slitta superiore, della retta di applicazione della risultante delle pressioni.

Unità n. 14 - Lezione N. 10  
"Il rendimento dei meccanismi"

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

- 1) Riepilogo sulle leggi fondamentali della fisica (quantità di moto, energia cinetica, leggi di conservazione, teorema delle forze vive)
- 2) Regimi di una macchina.
- 3) Definizione di rendimento meccanico.
- 4) Rendimento di sistemi in serie ed in parallelo.
- 5) Espressioni del rendimento basate sul funzionamento in regime ideale.
- 6) Moto retrogrado ed arresto spontaneo.

Unità n. 15 - Esercitazione N. 4  
"L'analisi mediante l'applicazione del teorema dei moti relativi".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Scelta dei riferimenti fisso e mobile.

Analisi di una slitta a ritorno rapido: guida di Fairbairn.

Analisi della configurazione. Analisi delle velocità e dell'accelerazione.

Unità n. 16 - Esercitazione N. 5  
"Il pattino piano lubrificato".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Integrazione numerica secondo le formule di Bezout e di Simpson-Cavalieri e loro formulazione iterativa.

Calcolo analitico e numerico approssimato della forza sostenitrice, del coefficiente di attrito mediato e dell'altezza minima del meato, in un meato convergente ad altezza linearmente decrescente. Confronto tra le soluzioni esatte e quelle ottenute con il metodo numerico approssimato.

#### Unità n. 17 - Lezione N. 11

##### “La coppia rotoidale”.

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Funzionamento della coppia rotoidale spingente nelle seguenti condizioni:

- asciutta
- lubrificata idrostaticamente (cenni)
- lubrificata idrodinamicamente (cuscinetto Michell)

Funzionamento della coppia rotoidale portante nelle seguenti condizioni:

- asciutta
- lubrificata idrostaticamente (solo cenni)
- lubrificata idrodinamicamente (solo cenni)

#### Unità n. 18 - Lezione N. 12

##### “Introduzione ai metodi di analisi dinamica multibody”.

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Dinamica dell'elemento materiale.

Equazioni cardinali della dinamica per il corpo rigido.

Dinamica dei sistemi di corpi rigidi.

Problema dinamico diretto e inverso

Cenni sulla impostazione delle equazioni di vincolo.

Metodo Newton-Eulero.

Analisi dinamica basata sull'applicazione del teorema dei lavori virtuali.

#### Unità n. 19 - Esercitazione N. 6

##### “Calcolo pratico del rendimento di meccanismi a regime assoluto”.

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Equilibrio dei meccanismi nell'esercizio ideale, nel moto diretto e nel moto retrogrado. Calcolo del rendimento.

Applicazione a due esempi di meccanismi.

Cuneo di sollevamento.

Doppio pattino.

#### Unità n. 20 - Lezione N. 13

##### “I giunti di trasmissione”.

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Generalità e tipologie di giunti.  
Analisi del giunto di Oldham.  
Analisi del giunto cardanico e del doppio giunto cardanico.  
Dimostrazione della loro omocineticità.

Unità n. 21 - Lezione N. 14  
"Gli ingranaggi".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Generalità sui metodi di trasmissione per assi paralleli, incidenti e sghembi. Cenni sulle trasmissioni a flessibile. Trasmissione a frizione.  
Ruote di frizione.  
Geometria delle ruote dentate.  
Proprietà delle ruote dentate con profili ad evolvente.  
Proporzionamento modulare.  
Continuità del moto ed interferenza.  
Materiale didattico e complementare.  
Testo [4]: da pag. 297 a pag. 333 con esclusione degli argomenti non trattati a lezione (profili cicloidal).

Unità n. 22 - Esercitazione N. 7  
"Geometria delle ruote dentate".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Tracciamento della sezione di una ruota dentata con profili ad evolvente, per assegnati valori dell'interasse, del modulo, dell'angolo di pressione e del rapporto di trasmissione.

Unità n. 23 - Esercitazione N. 8  
"Analisi dinamica di un sistema disco-glifo".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Applicazione del metodo del "free body" per la risoluzione del problema dinamico inverso di un sistema disco-glifo, per assegnato valore della velocità angolare del disco e della coppia resistente agente sul glifo.  
Risoluzione dello stesso problema mediante applicazione del teorema dei lavori virtuali.  
Confronto con i risultati ottenuti mediante programma commerciale per l'analisi dinamica di sistemi multibody.

Unità n. 24 - Lezione N. 15  
"Oscillatore armonico libero non smorzato".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Introduzione sui modelli a parametri concentrati.

Introduzioni alle oscillazioni meccaniche elastiche. Periodo, pulsazione e frequenza.  
Metodi di analisi basati sui numeri complessi. Formula di Eulero.  
Sistema massa molla. Pulsazione propria.  
Esempio di corpo rigido incernierato con molla.

Unità n. 25 - Lezione N. 16  
"Oscillatore armonico libero smorzato".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Sistema massa molla smorzatore.  
Soluzioni aperiodiche smorzate.  
Soluzioni periodiche smorzate.  
Decremento logaritmico.  
Esempio di corpo rigido incernierato con molla e smorzatore.

Unità n. 26 - Lezione N. 17  
"Oscillatore armonico forzato".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Sistema massa molla smorzatore con forza eccitatrice armonica.  
Coefficiente di amplificazione dinamico.  
Diagramma della fase.  
Risonanza.  
Funzionamento nelle regioni quasi-statica, di risonanza e sismografica.

Unità n. 27 - Lezione N. 19  
"Pulsazioni torsionali e flessionali, velocità critiche flessionali".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Torsione elastica negli alberi di trasmissione.  
Albero con un volano ed un estremo incastrato. Pendolo torsionale.  
Flessione elastica negli alberi di trasmissione.  
Albero con un estremo incastrato e con massa solidale con l'altro estremo.  
Velocità critiche flessionali di un albero flessibile con volano calettato.  
Esempi.

Unità n. 28 - Lezione N. 18  
"Sistemi a parametri concentrati a  $n$  gradi di libertà".

Metodo: lezione tradizionale alla lavagna.

Sistemi liberi a parametri concentrati a  $n$  gradi di libertà. Matrice delle masse, delle rigidità e degli smorzamenti. Autovalori ed autovettori. Soluzioni sincrone. Pulsazioni proprie. Modi di vibrare.

Riepilogo sugli esercizi d'esame.