

**29327 - MECCANICA DELLE MACCHINE E DEI MATERIALI T.C.I. - MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE T**Corso di laurea: **8610 - INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA**Scuola di Ingegneria e Architettura, Università di Bologna, **a.a. 2015-16**Docente: **DdR. Ing. Alessandro Zanarini**

#	Data	Argomenti
1	22/09/2015	Motivazione della classe allo studio approfondito delle metodologie offerte dai corsi per un approccio a realtà complesse. Numerosi esempi qualificanti, dall'aeronautica alle lavatrici, passando per i veicoli ed i robots. Recapiti, riferimenti bibliografici, note sulle prove d'esame.
2	24/09/2015	Introduzione alle basilari definizioni: macchina, meccanismo, membri, elementi cinematici, coppia cinematica. La catena cinematica ed i meccanismi. Classificazione e tipologie delle coppie cinematiche (sono stati portati in aula diverse coppie di interesse industriale: cuscinetti a sfere, unibal, albero a camme, manicotto e vite a ricircolo di sfere, cinghia e puleggia, vite e dado precaricato, ruote dentate): coppie elementari e superiori, nel piano e nello spazio; coppia rotoidale, cilindrica, prismatica, sferica, camme. Definizione di moti piani, sferici e generali. Concetti sulla realizzazione dei vincoli e dei moti relativi permessi; vincoli monolateri e bilateri.
3	25/09/2015	Calcolo dei gradi di libertà in un meccanismo piano e spaziale; semplici esempi nel piano: manovellismo di spinta, glifo, quadrilatero articolato, camme e ruote dentate; applicazioni in meccanismi composti. La coppia superiore con attrito nell'esempio della bicicletta nel piano con catena di trasmissione. Come varia la configurazione ed il moto assoluto nella catena cinematica con la scelta del telaio: diversi esempi (quadrilatero articolato, glifi, RRRP, ruote dentate, camma+bilanciere+valvola). Introduzione alla composizione vettoriale delle velocità: richiami, poligoni di equivalenza, asse di Mozzi, velocità relative e proprietà delle coppie cinematiche.
4	29/09/2015	Applicazioni della composizione vettoriale delle velocità a semplici meccanismi: manovellismo di spinta, quadrilatero articolato e glifo oscillante; per ogni meccanismo è stata calcolata anche la velocità assoluta di un punto di un piano mobile non connesso col telaio.
5	01/10/2015	Applicazione della composizione vettoriale delle velocità a meccanismi con coppie superiori (caso semplice e più complesso)
6	02/10/2015	Composizione vettoriale delle velocità ed inversioni cinematiche per la descrizione dei moti relativi in catene RRRP e meccanismi composti. Introduzione ai Centri d'Istantanea Rotazione: definizioni, proprietà, vantaggi e limiti. Applicazioni a semplici meccanismi: manovellismo di spinta e glifo oscillante.
7	06/10/2015	Centri d'istantanea rotazione in meccanismi con camme; nel quadrilatero articolato; in meccanismi composti già visti con la composizione vettoriale delle velocità
8	08/10/2015	Composizione vettoriale delle accelerazioni; distinzione tra punti sullo stesso piano mobile e su piani mobili distinti e in moto relativo. Applicazione per il calcolo delle accelerazioni in semplici meccanismi: manovellismo di spinta e glifo oscillante
9	09/10/2015	Applicazione della composizione vettoriale delle accelerazioni al meccanismo con camme e al quadrilatero articolato. Calcolo dell'accelerazione in un qualsiasi punto di un piano mobile. Introduzione al centro delle accelerazioni: definizioni, proprietà, costruzioni grafiche. Applicazione al quadrilatero articolato.
10	13/10/2015	Analisi cinematica completa per via analitica del manovellismo di spinta centrato. Cenni al calcolo dei gdl nel quadrilatero articolato come meccanismo spaziale. Giunto di Cardano: schematizzazione, relazioni cinematiche, rapporto di trasmissione e commenti. Doppio giunto di Cardano: condizioni per la trasmissione omocinetica. Sono stati portati in aula i modelli fisici del manovellismo di spinta (spaccato del motore 2T), di un giunto di Cardano e della sua schematizzazione tridimensionale.
11	15/10/2015	Introduzione all'analisi statica delle macchine. Il contatto negli elementi cinematici, le pressioni alle interfacce, le reazioni vincolari risultanti, le loro posizioni e direzioni ammissibili: particolarità per le 3 tipologie di coppie cinematiche piane, con particolare attenzione alla coppia prismatica. Le condizioni di equilibrio dei membri di una macchina: esempi per membri binari soggetti solamente a 2 forze interne, a 2 reazioni e ad una forza esterna, a 2 reazioni e ad un momento esterno. Equilibrio di un corpo soggetto a 4 forze: metodo della retta ausiliaria.
12	16/10/2015	Condizioni di equilibrio in membri binari non caricati dall'esterno con coppia rotoidale e prismatica, con rotoidale e superiore, con prismatica e superiore, con 2 prismatiche e con 2 superiori. Sollecitazione di un membro ternario con un momento applicato. Applicazioni di forze e coppie nell'analisi statica del manovellismo di spinta in diverse configurazioni; in un meccanismo composto con tutte le tipologie di coppie cinematiche e momenti esterni. Esempio dell'equilibrio delle reazioni del telaio con le azioni esterne. Commenti sulla realizzabilità delle reazioni, o compatibilità delle stesse con i vincoli delle coppie cinematiche: coppia prismatica e superiore.
13	20/10/2015	Introduzione alla fenomenologia dell'attrito tra gli elementi cinematici di una coppia: origine dell'attrito di strisciamento (o radente), il coefficiente d'attrito in aderenza e cinetico, l'angolo di attrito ed il cono d'aderenza. Lezione interrotta causa la viltà di due studenti che, ripetutamente ripresi per la loro disattenzione (coi telefonini), hanno preferito la loro indifferenza ai richiami piuttosto che la lezione per tutti; è seguito un dialogo di responsabilizzazione con gli altri. Sarebbero stati spiegati anche: attrito volvente o di rotolamento, l'attrito nelle applicazioni delle coppie cinematiche piane, con particolare attenzione alla coppia prismatica.
14	22/10/2015	Conclusioni sull'effetto dell'attrito nelle coppie cinematiche piane. Applicazione di cinetostatica grafica al manovellismo di spinta, svolta nella sua interezza.
15	23/10/2015	Analisi cinetostatica grafica dell'autotreno in discesa, con particolare attenzione alle reazioni vincolari e alle condizioni di aderenza nel contatto ruota/terreno: problema del ribaltamento e dello slittamento. Applicazione di cinetostatica grafica ad un meccanismo complesso con tutte le tipologie di coppie cinematiche piane soggette ad attrito.
16	27/10/2015	Contatti con usura ed ipotesi di Reye per il calcolo della distribuzione delle pressioni: applicazione al pattino piano; applicazione alla coppia rotoidale di spinta (o ralla piana) e frizione/freni a disco (portati in aula componenti automobilistici di sistema frenante e frizione). Cuscinetti a rotolamento con corpi volventi a rulli cilindrici: calcolo del momento necessario alla rotazione dell'albero caricato; portati in aula numerosi cuscinetti a sfere, rulli (cilindrici, conici e a botte), guida a ricircolo di sfere per traslazione.
17	29/10/2015	Introduzione al regime di moto assoluto e periodico, al rendimento meccanico e alla perdita di rendimento nel moto diretto e retrogrado: considerazioni ed esempi sulla pericolosità delle macchine fuori controllo e sull'impiego del moto retrogrado. Calcolo del rendimento di moto diretto e retrogrado per il piano inclinato, con considerazioni sulla sicurezza. Rendimento di moto diretto e retrogrado nella coppia elicoidale: geometria dell'elicoide, cenni sulla determinazione della normale, considerazioni sulla progettazione dell'accoppiamento per i differenti usi.

18	30/10/2015	Introduzione alla teoria elementare della lubrificazione fluidodinamica. Ipotesi semplificative nel meato di profondità infinita; equilibrio di un fluido newtoniano e distribuzione delle velocità nel meato lubrificato; equazione di continuità ed equazione di Reynolds, commenti; lubrificazione per accostamento, cenni. Calcolo del gradiente delle pressioni e della sovrappressione all'interno del meato; portanza nel meato, azioni tangenziali e coefficiente di attrito equivalente per la coppia lubrificata. Applicazione alla coppia rotoidale lubrificata: forma del meato, del gradiente delle pressioni e della sovrappressione, sia nel caso ideale che reale; risultante e considerazioni.
19	03/11/2015	Il moto di vortice o whirl. Cenni alla lubrificazione in coppie superiori generiche. Introduzione alle ruote dentate: legge di generazione e profili di assortimento, tracciamento del fianco del dente ad evolvente di cerchio, grandezze caratteristiche e nomenclatura per le dimensioni di riferimento. Circonferenze di base e primitive al variare dell'interasse. Ingranamento tra ruote dentate: retta dei contatti, segmento ed arco d'azione.
20	05/11/2015	Condizione di continuità del moto tra ruote dentate e di non interferenza tra i profili. Il contatto tra i fianchi dei denti: differenza tra ruote a denti dritti e a denti elicoidali. La dentiera trapezia. Cenni all'accoppiamento vite - ruota elicoidale.
21	06/11/2015	Ruote coniche: polari, generazione del fianco ad evolvente sferica, approssimazione di Tredgold, rapporto di trasmissione. Introduzione ai rotismi ordinari, rapporto di trasmissione, rendimento complessivo, esempi con dentature esterne ed interne. Rotismi epicicloidali, approccio generale per le relazioni cinematiche e dei momenti applicati; esempi con dentature esterne ed interne. Differenziale a ruote coniche. Cenni alla trazione integrale e ad una asimmetrica ripartizione di coppia.
22	10/11/2015	Introduzione alla trasmissione in macchine di sollevamento per mezzo di corpi flessibili: pulegge fisse, mobili, paranco e loro rendimento per moto diretto e retrogrado. Corpi flessibili per la trasmissione di coppia e di potenza: generalità, principi di funzionamento del contatto, pretensionamento. Applicazione al freno a nastro differenziale e alla trasmissione tra pulegge fisse; la cinghia e le gole trapezie. Portati in aula numerosi componenti meccanici: ruota dentata a dentatura interna, ruote elicoidali per accoppiamenti sghembi-ortogonali, rocchetto e dentiera elicoidale autocompensata Citroen, vite senza fine e ruota elicoidale, creatore, coltelli Fellow, sbarbatore e mola, ruote coniche e superficie approssimante, riduttori (rotismi) ordinari a due stadi con ruote a denti curvi sia cilindriche che coniche, stadio epicicloidale, differenziale automobilistico, modelli in legno di ruote elicoidale per assi paralleli e sghembi, modellini di ruote dentate (dritte) con polari ellittiche; cinghia dentata in gomma/tessile e ruota con incavi, cinghia piatta, e puleggia a 3 gole trapezie e cinghia.
23	12/11/2015	Introduzione alla dinamica di corpo rigido nello spazio 3D; richiami di dinamica per il calcolo completo delle azioni inerziali ed esempi applicativi (asse fisso non principale d'inerzia; rotazione attorno ad un asse mobile sovrapposta alla rotazione attorno ad un asse fisso ortogonale). Squilibrio statico e di coppia, correzione su due piani o equilibratura dei rotor rigidi. Energia cinetica per un atto di moto generalizzato 3D. Sistemi dinamicamente equivalenti: masse di sostituzione, con esempio semplificato di un corpo binario con simmetrie e moto piano. Riduzione energeticamente equivalente della distribuzione di masse e forze generalizzate, scrittura delle equazioni del moto secondo Lagrange.
24	13/11/2015	Ancora sulle coppie d'inerzia per un solido cilindrico in rotazione attorno ad un asse mobile sovrapposta alla rotazione attorno ad un asse fisso ortogonale; esempio della motocicletta e della curva in controsterzo. Riduzione energeticamente equivalente di un sistema composto da pulegge, nastro trasportatore, masse traslanti, coppia e forze resistenti; scrittura dell'equazione del moto. La condizione di stabilità in regime assoluto per l'accoppiamento motore - utilizzatore, curve - caratteristiche meccaniche; considerazioni applicative. Calcolo dell'energia cinetica del manovellismo di spinta; riduzione dell'inerzia alla rotazione della manovella, separazione dei contributi rotanti e alterni. L'equazione dei lavori/energie nel transitorio di macchine a regime periodico. Definizione di grado di irregolarità e calcolo del volano. Azioni d'inerzia sul manovellismo di spinta, compensazioni, esempi di bilanciamento con architetture pluricilindriche.
25	17/11/2015	Introduzione all'elasticità e alla dissipazione negli elementi di macchina: sistemi elastodinamici, differenze tra modelli e realtà, limiti e calibrazione dei modelli. Oscillazioni libere di un sistema elastodinamico smorzato: parametri, equazioni del moto, integrale generale, smorzamento critico, pulsazione naturale, fattore di smorzamento, moti aperiodici e periodici smorzati; metodo del decremento logaritmico per la stima sperimentale dello smorzamento; influenza delle condizioni iniziali sull'integrale generale; esempi.
26	19/11/2015	Introduzione alle vibrazioni forzate: schematizzazione a 1 gdl, equazione del moto, integrale particolare, calcolo delle grandezze caratterizzanti; esempi dalla musica, all'acustica di macchine domestiche e di impiego industriale; applicazione con forzante ad ampiezza costante e proporzionale al quadrato della pulsazione. Forza trasmessa dalla sospensione al telaio: trasmissibilità di una sospensione.
27	20/11/2015	Vibrazioni trasmesse da una sospensione per effetto del movimento della base: schematizzazione, equazione del moto, integrale particolare e commenti; indicazioni per il progetto di una sospensione di un veicolo. Velocità critica flessionale - o vibrazioni flessionali nel Rotore di Jeffcott: semplificazioni, schematizzazione ed equazioni del moto, integrale e commenti su ampiezza dell'orbita e fasatura del baricentro al variare della velocità di rotazione. Cenni a situazioni reali con più di una velocità critica. Il fenomeno del vortice (Whirl) sul rotore flessibile al variare della velocità di rotazione; trasformazione in colpo di frusta (Whip) e considerazioni; sono stati proiettati i video del rilievo sperimentale di un rotore reale supportato su cuscinetti a sustentazione fluidodinamica per il whirl ed il whip. Commenti conclusivi al corso. Somministrazione dei questionari sulla didattica.

#### Testi consigliati:

- A. Zanarini      Analisi cinetostatica grafica di meccanismi piani: Applicazioni per la Meccanica delle Macchine, Società Editrice Esculapio, Bologna, 2012, ISBN - 978-88-7488-545-9
- E. Funaioli,      Lezioni di Meccanica Applicata alle Macchine, Prima parte: Fondamenti di Meccanica delle Macchine, Pàtron Editore, Bologna, 2008, ISBN 88-555-2829-7
- U. Meneghetti