

29327 - MECCANICA DELLE MACCHINE E DEI MATERIALI T C.I. - MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE TCorso di laurea: **8610-INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA**Scuola di Ingegneria e Architettura, Università di Bologna, **a.a. 2014-15**

Docente: DdR. Ing. Alessandro Zanarini

#	Data	Argomenti
1	23/09/2014	Motivazione della classe allo studio approfondito delle metodologie offerte dai corsi per un approccio a realtà complesse. Numerosi esempi qualificanti. Recapiti, riferimenti bibliografici, note sulle prove d'esame. Introduzione al corso: palinsesto degli argomenti trattati. Prime nozioni di macchina, meccanismo, elementi cinematici, coppia cinematica.
2	25/09/2014	Gradi di libertà e vincoli nelle coppie cinematiche; classificazione e tipologie (diversi esempi industriali portati in aula: cuscinetti a sfere, unibal, albero a camme, manicotto e vite a ricircolo di sfere, cinghia e puleggia, vite e dado precaricato); coppie piane e spaziali; coppie elementari e superiori nel piano e nello spazio; coppia rotoidale, cilindrica, prismatica, elicoidale, sferica, sfera su sfera, camme. Calcolo dei gradi di libertà in un meccanismo piano e spaziale; semplici esempi: manovellismo di spinta, glifo, quadrilatero articolato, camme e ruote dentate. La coppia superiore con attrito. Il quadrilatero articolato nella realizzazione spaziale: limiti costruttivi e rilassamento dei vincoli. Come varia la configurazione ed il movimento nella catena cinematica con la scelta del telaio: diversi esempi (quadrilatero articolato, glifi, RRRP, ruote dentate, camma+bilanciere+valvola).
3	26/09/2014	Calcolo dei gradi di libertà nel contatto ruota-terreno e catena-corona: esempio della bicicletta e dei treni su cremagliera. Portati in aula diversi modelli fisici di meccanismi piani per comprenderne meglio il moto. Introduzione alla composizione vettoriale delle posizioni e delle velocità. Richiami, poligoni di equivalenza, asse di Mozzi, velocità relative e proprietà: applicazione al manovellismo di spinta, con anche il calcolo della velocità di un punto del piano mobile della biella.
4	30/09/2014	Composizione vettoriale delle velocità in qualsiasi punto di diversi meccanismi: glifo oscillante, quadrilatero articolato, camme, meccanismi composti. Introduzione al metodo dei centri d'istantanea rotazione; corollari del Teorema di Chasles, proprietà dei centri d'istantanea rotazione.
5	02/10/2014	Determinazione dei centri d'istantanea rotazione in funzione della tipologia di coppia cinematica. Applicazioni a meccanismi semplici e composti. Cenni alle polari del moto ed al loro significato.
6	03/10/2014	Esempi di applicazione dell'approccio coi cir al calcolo delle velocità in meccanismi complessi. Composizione vettoriale delle accelerazioni: punti appartenenti allo stesso piano mobile o a piani mobili differenti, con moto relativo; peculiarità, esempi applicativi (quadrilatero articolato).
7	07/10/2014	Determinazione del Centro delle Accelerazioni: dimostrazione ed applicazioni al manovellismo di spinta ed al glifo oscillante; soluzione completa dell'analisi cinematica e determinazione delle accelerazioni in qualsiasi punto dei piani mobili; casi particolari e generali; calcolo geometrico della componente centripeta delle accelerazioni relative; approccio con i triangoli simili per l'accelerazione di qualsiasi punto del piano mobile.
8	09/10/2014	Determinazione delle accelerazioni in presenza di una coppia superiore. Analisi cinematica completa per via analitica del manovellismo di spinta centrato. Giunto di Cardano: schematizzazione, relazioni cinematiche, rapporto di trasmissione e commenti. Doppio giunto di Cardano: condizioni per una trasmissione omocinetica. Portati in aula i modelli fisici dei sistemi di riferimento del Cardano, un'applicazione reale del singolo e del doppio giunto.
9	10/10/2014	Introduzione alla 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 a 2 e 3 forze.
10	14/10/2014	Equilibrio di membri soggetti a 3 forze ed una coppia; 4 forze e metodo della retta ausiliaria. Semplici esempi applicativi di forze e coppie applicate a diversi membri di un manovellismo di spinta, di un quadrilatero articolato e di un meccanismo composto; applicazioni delle reazioni in tutte le coppie e discussione dei risultati dell'equilibrio: compatibilità e distribuzione delle pressioni conseguente. Cenni a casi con più forze note sullo stesso piano mobile. Cenni alla sovrapposizione degli effetti. Verifica degli equilibri locali e globali di una semplice macchina.
11	16/10/2014	Introduzione alla fenomenologia dell'attrito tra gli elementi cinematici di una coppia: origine dell'attrito di strisciamento (o radente) e di quello di rotolamento. L'attrito nelle applicazioni delle coppie cinematiche piane: coppia rotoidale (circolo d'attrito), coppia superiore (angolo d'attrito cinetico e parametro di attrito volvente) e coppia prismatica (scomposizione dei contributi di reazione vincolare). Applicazione completa ad un manovellismo di spinta: distribuzione di velocità, soluzione statica in assenza d'attrito, determinazione delle direzioni delle forze in presenza d'attrito, soluzione della cinetostatica.
12	17/10/2014	Applicazione di cinetostatica grafica ad un meccanismo complesso con tutte le tipologie di coppie cinematiche in presenza d'attrito. Analisi cinetostatica grafica dell'autotreno in salita, con particolare attenzione alle reazioni vincolari e alle condizioni di aderenza nel contatto ruota/terreno: problemi del ribaltamento e dello slittamento.
13	21/10/2014	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. 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 e determinazione della normale, considerazioni sulla progettazione dell'accoppiamento per i differenti usi; è stato portato in aula il modello dell'elicoide per calcolare la direzione della normale.
14	23/10/2014	Contatti con usura ed ipotesi di Reye; applicazioni: la distribuzione di pressione nel contatto del pattino piano; coppia rotoidale di spinta o ralla piana, nel caso anche di frizioni e freni a disco (portati in aula i componenti automobilistici di sistema frenante e frizione). Cuscinetti a rotolamento con corpi volventi a rulli cilindrici: calcolo del momento motore necessario alla rotazione dell'albero caricato; portati in aula numerosi cuscinetti a sfere, rulli (cilindrici, conici e a botte), guide a ricircolo di sfere (per traslazione e vite).
15	24/10/2014	Introduzione alla teoria elementare della lubrificazione fluidodinamica. Ipotesi e semplificazioni nel meato di profondità infinita. Equilibrio in un fluido newtoniano: distribuzione delle velocità nel meato lubrificato. Equazione di continuità e equazione di Reynolds, commenti.
16	28/10/2014	Lubrificazione per accostamento nel caso ideale. Calcolo del gradiente delle pressioni e della distribuzione della sovrappressione all'interno del meato lubrificato con sustentazione fluidodinamica. Portanza del 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 nel modello ideale; risultante e considerazioni. Caso reale. Il moto di vortice o di whirl. Cenni alla lubrificazione in coppie superiori generiche, importanza della progettazione della coppia correttamente lubrificata per evitare il contatto di strisciamento. Introduzione alle ruote dentate: leggi di generazione, profili di assortimento, tracciamento del fianco del dente ad evolvente di cerchio, nomenclatura.

17	30/10/2014	Come tracciare i fianchi dei denti ad evolvente di cerchio. Circonferenza di base e primitive al variare dell'interasse. Proporzionamento normale della dentatura e dimensioni di riferimento: addendum, dedendum, modulo, passo. La fase di ingranamento tra le ruote dentate: retta dei contatti, segmento e arco d'azione, movimento del contatto sui fianchi accoppiati; la condizione di continuità e commenti. Sono state portate in aula numerose ruote cilindriche a denti dritti, interne ed esterne, utensili creatore, coltelli fellows e mola.
18	31/10/2014	Condizione di non interferenza per le ruote dentate ad evolvente. Il contatto tra i denti sul piano dei contatti e disposizione della risultante. Introduzione alle ruote dentate cilindriche elicoidali; il nuovo piano tangente ai fianchi dei denti, spinte assiali, aumento dell'arco d'azione e commenti. Sono state portate in aule numerose ruote elicoidali, anche autocompensate, rochetto e dentiera Citroen, ruote ad assi sghembi ortogonali, vite senza fine e ruota elicoidale, sbarbatore elicoidale.
19	04/11/2014	I parametri geometrici sulla sezione normale in ruote cilindriche elicoidali. Ruote cilindriche elicoidali per moto tra assi sghembi: proprietà del contatto nel caso generale e nel caso particolare di assi sghembi ortogonali; vite senza fine e ruota a dentatura elicoidale; cenni alle ruote a polari iperboliche. Ruote coniche: polari del moto, rapporto di trasmissione, dentatura, schema del contatto, approssimazione di Tredgold; cenni a ruote coniche per assi sghembi. Portate in aula numerose ruote cilindriche a dentatura elicoidale per accoppiamenti ad assi sghembi ortogonali e vite senza fine; modellini in legno; ruote coniche e superficie approssimante; coniche a denti curvi e ipoidali; tre riduttori ordinari a due stadi con ruote a denti curvi sia cilindriche che coniche.
20	06/11/2014	Ancora sulle ruote dentate coniche: il rapporto di trasmissione come espressione del numero di denti. Portati in aula alberi con ruote coniche e cuscinetti, modellino in legno delle polari coniche per trasmissione ad assi paralleli ed albero intermedio, doppio Giunto di Cardano, pompa ad ingranaggi completa. Introduzione ai rotismi ordinari: calcolo del rapporto di trasmissione con più stadi, schematizzazione, stadi intermedi, ruote oziose, dentatura interna ed esterna. Portati in aula 4 rotismi ordinari industriali con ruote cilindriche a denti dritti ed elicoidali montate, uno stadio conico-ipoidale. Rotismi epicicloidali: il contatto tra le ruote e le condizioni di equilibrio o ripartizione delle reazioni vincolari nella configurazione base, architetture a più satelliti, cambio di riferimento e formula di Willis, rotismi combinatori a 2 gdl, rapporto di trasmissione, relazioni tra i momenti, commenti. Cenni alle applicazioni eoliche e di regolazione di velocità per alternatori; cenni alla ripartizione di coppia nella trazione integrale. Portati in aula una ruota a dentatura interna, uno stadio epicicloidale di riduzione ed un differenziale automo
21	07/11/2014	Un rotismo epicicloidale come macchina di sollevamento. Cenni ai rotismi epicicloidali a 2 gdl come combinatori nelle antiche macchine calcolatrici. Il differenziale nella trazione automobilistica: funzione, applicazione alla trazione integrale permanente, particolarità costruttiva per una ripartizione di coppia asimmetrica; il moto di spin dei satelliti nel differenziale a ruote coniche; cenni alla trazione su terreno sdruciolevole. Portati in aula 2 differenziali a ruote coniche per veicoli. Introduzione alla trasmissione per mezzo di corpi flessibili: pulegge fisse, mobili, paranco e loro rendimento per moto diretto e retrogrado.
22	11/11/2014	Corpi flessibili per la trasmissione di coppia e di potenza: generalità, principi di funzionamento del contatto, pre-tensionamento. Applicazione ai freni a nastro (ordinario e differenziale) e alla trasmissione tra pulegge; la cinghia e le gole trapezie. Portati in aula diversi modellini in legno per cinghie piatte; cinghia dentata e ruote con incavi; puleggia a tre gole trapezie e cinghia; cinghia piatta.
23	13/11/2014	Introduzione alla dinamica di corpo rigido nello spazio 3D; richiami di dinamica per il calcolo completo delle azioni inerziali ed esempi applicativi (cilindro rotante attorno ad un asse mobile principale d'inerzia e ad uno fisso ortogonale; asse fisso non principale d'inerzia; asse principale non baricentrico). Squilibrio statico e dinamico, effetti sulla deformata vincolata, correzione su due piani o equilibratura dei rotori rigidi. Energia cinetica per un atto di moto generalizzato 3D. Masse di sostituzione, con esempio per la biella piana. Riduzione energeticamente equivalente della distribuzione di masse e forze generalizzate, scrittura delle equazioni del moto secondo d'Alembert: esempio per un semplice riduttore e per una macchina con pulegge, nastro e massa traslante.
24	14/11/2014	Cenni agli effetti delle coppie d'inerzia nella dinamica della motocicletta. Ancora sulla riduzione energetica dei sistemi meccanici: inerzie e azioni esterne ridotte, applicazione ad una macchina con pulegge, nastro trasportatore, riduttore, coppia e forza resistente, scrittura dell'equazione del moto con le quantità ridotte. La condizione di stabilità in regime periodico per l'accoppiamento motore - utilizzatore; curve caratteristiche; considerazioni applicative. Calcolo dell'energia cinetica nel manovellismo di spinta; riduzione dell'inerzia alla rotazione della manovella, separazione dei contributi rotanti ed alterni. L'equazione dei lavori/energie nel transitorio di macchine a regime periodico. Definizione di grado di irregolarità e calcolo del volano.
25	18/11/2014	Azioni d'inerzia sul manovellismo di spinta, compensazioni, esempi di bilanciamento con architetture pluricilindriche. Introduzione ai sistemi elastodinamici ad 1 gdl, differenza tra modello e realtà, limiti e calibrazione del modello. Oscillazioni libere di un sistema elastodinamico smorzato: equazione del moto, integrale generale, smorzamento critico, moti aperiodici e periodici smorzati, cenni al metodo del decremento logaritmico per la stima dello smorzamento, esempi.
26	20/11/2014	Approfondimento sulla somma delle esponenziali complesse nell'integrale generale delle vibrazioni libere. Introduzione alle vibrazioni forzate: schematizzazione, eq. moto, integrale particolare, calcolo delle grandezze caratterizzanti; applicazioni al caso con forzante ad ampiezza costante e proporzionale all'accelerazione centrifuga. Forza trasmessa dalla sospensione al terreno: trasmissibilità di una sospensione. Eccitazione della base e risposta del sistema elastodinamico; esempi applicativi (terremoto, veicolo fuoristrada, sismografo).
27	21/11/2014	Vibrazioni flessionali di un rotore: modellazione del rotore semplificato secondo Jeffcott ed ipotesi, equazioni del moto, integrale generale e particolare, ampiezza dell'orbita e fasatura del baricentro al variare della velocità di rotazione; cenni ai sistemi a più gdl. Il fenomeno del vortice (Whirl) sul rotore flessibile; trasformazione in colpo di frusta (Whip) e considerazioni. Proiettati i video del rilievo sperimentale di un rotore supportato su cuscinetti a sustentazione fluidodinamica per il whirl ed il whip; motocicletta su salto e terreno ondulato; applicazioni eoliche; oscillazioni in meccanismi spaziali; animazione del rotismo epicicloidale; rilievi sperimentali a campo pieno di vibrazioni per piastre sottili e dischi; forme modali numeriche di piastre. Conclusione del corso.

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