

**28520 - FONDAMENTI DI MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE T-1 --- modulo 2**Corso di laurea: **0920 - INGEGNERIA DELL'AUTOMAZIONE**Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna, **a.a. 2013-14**

Docente: DdR. Ing. Alessandro Zanarini

#	Data	Argomenti
1	22/11/2013	Introduzione ai problemi reali di dinamica strutturale nelle macchine e commenti. Modellazione a 2 gdl di semplici sistemi elastodinamici: due masse sospese e un cassone traslante e ribaltabile; scrittura del sistema delle equazioni del moto per le oscillazioni libere, compattazione in forma matriciale, ricerca della soluzione, pulsazioni naturali e forme modali, autoproblema associato con autovalori e autovettori, accoppiamento statico e dinamico.
2	26/11/2013	Vibrazioni forzate per un sistema a 2 gdl in assenza di smorzamento; assorbitore dinamico. Oscillazioni torsionali libere di un sistema a 3 gdl in assenza di smorzamento; commenti su autovalori e autovettori. Estensione ai problemi in assenza di smorzamento con molti gdl. Trasformazione modale, riscrittura delle equazioni del moto, ortogonalità degli autovettori e disaccoppiamento. Sistemi ridotti. Vibrazioni forzate di sistemi a molti gradi di libertà in assenza di smorzamento, in coordinate naturali e modali, anche ridotti; commenti.
3	28/11/2013	Lo smorzamento nei sistemi a molti gdl: smorzamento proporzionale vs approccio generale per lo smorzamento viscoso, equazioni del moto, trasformazioni, sovrapposizione di moto di corpo rigido con quella di corpo flessibile, commenti, animazioni video. La funzione di trasferimento in sistemi ad 1 gdl e a molti gdl; riscrittura della funzione di trasferimento utilizzando la base modale del caso di smorzamento generalizzato.
4	29/11/2013	Presentati modelli FEM di strutture complesse, cenni al confronto con dati sperimentali e alla discretizzazione spaziale delle geometrie. La matrice delle funzioni di trasferimento come prodotto delle matrici di origine modale, commenti su i fattori di partecipazione modale. Le funzioni di risposta all'impulso unitario, residui, relazioni e commenti sugli autovalori. Cenni all'instabilità dei modi e a fenomeni di autoeccitazione quali flutter e chatter. La stima delle funzioni di risposta in frequenza da misure sperimentali: notazione, metodi di stima, cenni alla sotto-strutturazione basata sulle FRF di problemi industriali complessi. Il caso della modellazione ibrida vibro-acustica del contatto ruota terreno in un veicolo terrestre; FRF come correlazioni tra domini fisici diversi. Proiettati il confronto tra misure sperimentali e sintesi ibrida, variabilità delle FRF in meccanismi spaziali quali robot e veicoli, con commenti.
5	03/12/2013	Differenza tra misure e FRF, proiezioni di deformate operative nel dominio del tempo e della frequenza. La funzione coerenza come stima dell'attendibilità delle misure. Introduzione alla diagnostica dei sistemi meccanici. La progressione dei danni rilevata dai dati nel dominio del tempo e frequenza. Valori RMS, trasformata di Hilbert, cepstrum e media sincrona quali strumenti di indagine più avanzata. Esempi di autospettri. Il modello cinematico del cuscinetto a corpi volventi per la valutazione delle frequenze di danneggiamento: danno sulla pista esterna.
6	05/12/2013	Il modello cinematico per le frequenze caratteristiche del cuscinetto a corpi volventi danneggiato: pista interna, corpo volvente e gabbia. La modulazione d'ampiezza: effetti sugli autospettri ed esempi. Effetti dei giochi nei cuscinetti. Cenni ai danni distribuiti quali corrosione ed insufficiente lubrificazione. Esempi da rilievi di interesse industriale.
7	06/12/2013	La diagnostica di trasmissioni con giunti: effetti sugli autospettri del giunto di Cardano, del giunto a denti e del giunto elastico. La diagnostica per le ruote dentate: generalità sui difetti di costruzione e montaggio, frequenza di ingranamento, fantasma, frazionaria, di ripetizione, effetti della modulazione di fase e di ampiezza, fatica superficiale e urti. Cenni all'uso della trasformata di Hilbert e del Cepstrum in segnali rumorosi. Sono stati proiettati esempi reali di disallineamenti e difetti in ruote dentate per applicazioni diagnostiche. Cenni all'importanza degli approcci diagnostici anche in fase di montaggio e rodaggio delle macchine.
8	10/12/2013	Introduzione alla progettazione del movimento. La sintesi della forma di un movente per imprimere al cedente la legge di moto voluta: casi delle sagome e delle camme (piane e cilindriche) con punterie a coltello, piattello, rotella, con contatto di forza o di forma. Calcolo dell'angolo di spinta tra camma e punteria a rotella.
9	10/12/2013	<b>Lezione extra</b> sul rilievo sperimentale di vibrazioni e sull'analisi modale. Il set-up sperimentale per le misure dinamiche. Acquisizione di dati sperimentali: parametri di acquisizione, campionamento, modulazione nei domini di tempo e frequenza. Stima di funzioni di risposta in frequenza sperimentali e uso della funzione coerenza. Impieghi diversi delle FRF. Esempi di misure d'orbita in rotori flessibili su supporti lubrificati. Estrazione del modello modale dalle FRF sperimentali: somma delle FRF, diagramma di stabilità dei poli del polinomio caratteristico, autovettori, commento sugli errori di stima. Alternativa delle tecniche FBS. Esempi di misure a campo pieno per l'alta descrizione spaziale delle misure: deformate operative, deformazioni e tensioni superficiali corrispondenti, vita a fatica per fenomeni dinamici.
10	12/12/2013	Tracciare la forma della camma per l'utilizzo di un bilanciante a rotella come cedente; sagoma e bilanciante. Sottotaglia nella costruzione delle camme. Analisi cinetostatica del meccanismo camma - punteria a rotella: reazione vincolare tra camma e rotella, considerazioni su velocità ed accelerazioni geometriche. Introduzione alle leggi di moto: a velocità costante, velocità costante raccordata, accelerazione raccordata, legge cicloidale ed effetti sulla spinta tra camma e rotella.
11	13/12/2013	Richiami sull'angolo di pressione nel caso di camma e punteria a piattello; meccanismo equivalente per camma e bilanciante a rotella. Analisi cinematica della Croce di Malta o Ruota di Ginevra, quale meccanismo intermittente: velocità ed accelerazioni in forma analitica. Sintesi grafica del cinematismo per garantire ad una biella, o a un segmento di un piano mobile, il passaggio per due o tre posizioni definite. Sintesi del quadrilatero nella trasformazione del moto da rotatorio ad alterno.

12	17/12/2013	Analisi del transitorio d'innesto di una frizione: schematizzazione dell'impianto, curve caratteristiche motrici e resistenti, riduzione delle inerzie e delle coppie, scrittura delle equazioni del moto e loro integrazione, studio dei tempi necessari e del lavoro dissipato/durata in funzione dei parametri di progetto.
13	19/12/2013	Introduzione alla oleoidraulica ed al dominio di utilizzo. Richiami fondamentali alla meccanica dei fluidi: teorema di Bernoulli, perdite distribuite e concentrate, viscosità; potenza idraulica, cilindrata di pompe e motori, attuatori rotativi e lineari. Esempi di pompe reali (ad ingranaggi, a palette, a pistoni radiali ed assiali) e di martinetti idraulici. Organi ausiliari di un circuito oleoidraulico: accumulatori, regolatori di pressione e portata, filtri, scambiatori di calore, distributori.
14	20/12/2013	Esempi di semplici circuiti oleoidraulici, attuazione di cilindri oleodinamici ed applicazione dei componenti fondamentali dei circuiti. La trasmissione idrostatica.

**Testi consigliati:**

W. Heylen, S.Lammens, P.Sas	<i>Modal Analysis Theory and Testing</i> , Katholieke Universiteit Leuven (Belgium), 1998, ISBN 90-73802-61-X
D.J. Ewins	<i>Modal testing: theory, practice and application</i> , 2 <sup>nd</sup> edition, Research Studies Press LTD., UK, 2000, ISBN 0-86380-218-4
T.A. Harris	<i>Rolling bearing analysis</i> , 4th edition, John Wiley & Sons, 2001, ISBN 0-471-35457-0
A. Muszynska	<i>Rotordynamics</i> , CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005, ISBN 0-8247-2399-6
Collacott R.	<i>Mechanical Fault Diagnosis and condition monitoring</i> (1st ed. 1977), Springer, ISBN 9789400957251
Taylor	<i>The Gear Analysis Handbook</i> , Vibration Consultants, 2000, ISBN 978-0964051713
E. Funaioli, A.Maggiore, U. Meneghetti	Lezioni di Meccanica Applicata alle Macchine, Seconda parte: Elementi di Meccanica degli Azionamenti; Pàtron Editore, Bologna, 2007, ISBN 88-555-2948-8
E. Funaioli, A.Maggiore, U. Meneghetti	Lezioni di Meccanica Applicata alle Macchine, Terza parte: Dinamica e vibrazioni delle Macchine; Pàtron Editore, Bologna, 2011, ISBN 88-555-3136-8