

DINAMICA DEI ROTORI (A. A. 2020/21)

PROGRAMMA DEL CORSO

1) Richiami di Meccanica delle Vibrazioni

1.1) Sistemi a 1 DOF

1.2) Sistemi a N DOF

1.3) Richiami sulla trasformata di Laplace e applicazione ai sistemi meccanici

1.4) Richiami sulla serie e sulla trasformata di Fourier e applicazione ai sistemi meccanici

2) Vibrazioni flessionali libere: rotori rigidi

2.1) equazioni di moto e loro linearizzazione

2.2) diagramma di Campbell e classificazione dei modi

3) Vibrazioni flessionali forzate: rotori rigidi

3.1) Classificazione delle forzanti

3.2) Diagrammi di Campbell e Bode

3.3) Azione della gravità

4) Vibrazioni flessionali libere: rotori flessibili

4.1) Elementi concentrati

4.2) Elementi distribuiti (Eulero-Bernoulli)

4.3) Elementi distribuiti (Timoshenko)

4.4) Assemblaggio delle equazioni del moto e smorzamento

4.5) Diagramma di Campbell e classificazione dei modi

4.6) Elementi di forza: cuscini a fluido (equazioni di Navier-Stokes)

4.7) Elementi di forza: cuscini a fluido, (equazione di Reynolds, calcolo dei coefficienti di cuscinio)

5) Vibrazioni flessionali forzate: rotori flessibili

5.1) Classificazione delle forzanti

5.2) Diagrammi di Campbell e Bode

5.3) Azione della gravità

6) Vibrazioni torsionali: modelli FEM

7) Vibrazioni assiali: modelli FEM

8) Modelli di componenti complessi 3D e interazione fluido struttura

9) Modelli di rotori elastici complessi 3D

9.1) Elementi concentrati

9.2) Elementi distribuiti

9.3) Assemblaggio delle equazioni del moto e smorzamento

9.4) Forzanti di fluido

9.5) Elementi di forza: cuscini a fluido e forzanti associate

9.6) Vibrazioni libere: diagramma di Campbell e classificazione dei modi

9.7) Vibrazioni forzate: classificazione delle forzanti, diagrammi di Campbell e Bode, e azione della gravità

10) Ottimizzazione strutturale dei componenti

10.1) Ottimizzazione strutturale pura

10.2) Ottimizzazione termo-strutturale

10.3) Ottimizzazione fluido-termo-strutturale

11) Bilanciamento

11.1) Metodo dei coefficienti di influenza (ICM)

11.2) Bilanciamento modale (MB)

12) Normative in ambito rotordinamico

13) Visita ai Laboratori BH Nuovo Pignone

BIBLIOGRAFIA

-Dynamics of Rotating Machines, Michael I. Friswell and John E. T. Penny, Cambridge Aerospace Series, 2010.

-Rotating machinery vibration, M. L. Adams, Marcel Dekker Ed., 2001.

- Dara W. Childs, Turbomachinery Rotordynamics with Case Studies, Intel Spring Ed., 2013.
- Agnieszka Muszynska, Rotordynamics, CRC Press, 2005.
- Michel Lalanne and Guy Ferraris, Rotordynamics Prediction in Engineering, Wiley, 1998.
- Giancarlo Genta. Dynamics of Rotating Systems, Springer, 2005.
- <http://www.api.org/>
- Giancarlo Genta, Vibration Dynamics and Control, Springer, 2009.
- D. J. Ewans, Modal testing, Research Studies Press, 2000.
- C. M. Harris, Shock and Vibration Handbook, Mc Graw-Hill, 2009.
- Bolzern, Scattolini e Schiavoni, Fondamenti di controlli automatici, Mc Graw-Hill Italia, 2008.
- G. Marro, Controlli automatici, Zanichelli, 2004.
- Joel L. Schiff, The Laplace Transform: Theory and Applications, Springer-Verlag, 2013.
- J. F. James, A Student's Guide to Fourier Transforms: With Applications in Physics and Engineering Cambridge University Press, 2011.
- Eric W. Hansen, Fourier Transforms: Principles and Applications, John Wiley & Sons, 2014.
- Hassan K. Khalil , Nonlinear Systems, Prentice Hall, 2002.
- B. J. Hamrock, Fundamentals of fluid film lubrication, Mc Graw Hill, 2012.
- E. Meli, Dispense del corso di Meccanica Applicata: teoria della lubrificazione, 2012.
- L. Sciavicco, B. Siciliano, Robotica industriale, Mc Graw Hill, 2008.
- F. Cheli, E. Pennestrì, Cinematica e dinamica dei sistemi multibody, Casa Editrice Ambrosiana, 2010.
- E. Pennestrì, Meccanica applicata alle macchine, Casa Editrice Ambrosiana, 2010.
- E. Meli, Dispense del corso di Meccanica Applicata: richiami di dinamica, 2012.
- G. Dhatt, G. Touzot, The finite element method displayed, Wiley & Sons, 1985.
- G. Dhatt, G. Touzot, The finite element method, Wiley & Sons, 2012.
- O. C. Zienkiewicz, The finite element method, Butterwoth & Heinemann, 2000.

MODALITA' D'ESAME:

Orale sulla teoria e sul progettino (su appuntamento). Lo studente dovrà prima iscriversi a uno degli appelli. I ricevimenti sono su appuntamento.

REGOLE PER IL PROGETTINO

Ricerca bibliografica su uno degli argomenti riportati in seguito usando i motori di ricerca elencati qui sotto.

Archivi di ricerca:

archivio ASME <http://asmedigitalcollection.asme.org/Solr/advancedSearch.aspx>

archivio ScienceDirect <http://www.sciencedirect.com>

archivio Google Scholar <https://scholar.google.it/>

archivio IEEE <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

ARGOMENTI DEI PROGETTINI

modelli per l'interazione fluido-struttura nelle turbomacchine

modellazione dell'interazione rotore-basamento e treno-modulo

tecniche di modellazione FEM per la rotordinamica e funzioni di forma (macchine orizzontali e verticali)

tecniche di modellazione flexible multibody per la rotordinamica (macchine orizzontali e verticali)

tecniche di ricostruzione modale

tecniche di model reduction

tecniche di ottimizzazione strutturale e design per cuscinetti di turbomacchine

tecniche di ottimizzazione strutturale e design di componenti di turbomacchine

progettazione di componenti di turbomacchine mediante tecniche di additive manufacturing

modelli di cuscinetti a sustentazione fluidodinamica a fluido/gas (aspetti fluidodinamici)

modelli di cuscinetti a sustentazione fluidodinamica a fluido/gas (aspetti termici)

modelli di cuscinetti a sustentazione fluidodinamica a fluido/gas (aspetti elastici e strutturali)

modelli di cuscinetti a contatto diretto a strisciamento e a rotolamento in materiali innovativi

modelli di cuscinetti a sustentazione elettromagnetica

modelli di cuscinetti ausiliari volventi (sia portanti che ausiliari)

estrazione dei coefficienti dinamici MKC dei cuscini a partire da test sperimentali e modelli TEHD/FEM

modelli di tenute

modelli di giunti

modelli di gearbox

modellazione delle macchine elettriche e loro interazione con le turbomacchine

modellazione delle macchine elettriche e loro interazione con la linea elettrica

banchi prova per cuscini di turbomacchine

banchi prova per rotori di turbomacchine

tecniche/strumenti di misura e trattamento/analisi dei dati sperimentali

attuatori: motori elettrici (driver) e perturbatori (shaker)

controllo attivo e passivo delle vibrazioni nelle turbomacchine

tecniche di bilanciamento per le macchine rotanti

analisi e classificazione delle norme API

DIDATTICA - LEZIONI

Orario delle lezioni (da aggiornare ogni settimana):

Lunedì SV005, SMV 8.20-10.30

Martedì SM048 14.10-16.20

Venerdì SV002, SMV 14.10-16.20

Durata del corso:

21/9/20 - 19/12/20

13 settimane, 37 lezioni (11 in presenza e 26 online)

REGISTRO DELLE LEZIONI

Lezione 1 (21/9/20, 2 ore):

Sistemi lineari ad 1 DOF

Lezione 2 (22/9/20, 2 ore):

Sistemi lineari ad N DOF

Lezione 3 (25/9/20, 2 ore):

Trasformata di Laplace, applicazione a sistemi lineari

Lezione 4 (28/9/20, 2 ore):

Trasformata di Laplace, applicazione a sistemi lineari

Lezione 5 (29/9/20, 2 ore):

Serie di Fourier, applicazione a sistemi lineari

Trasformata di Fourier, applicazione a sistemi lineari

Lezione 6 (2/10/20, 2 ore):

Serie di Fourier, applicazione a sistemi lineari

Trasformata di Fourier, applicazione a sistemi lineari

Lezione 7 (5/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali libere: rotori rigidi (equazioni di moto)

Lezione 8 (6/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali libere: rotori rigidi (diagramma di Campbell e classificazione dei modi)

Lezione 9 (9/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali forzate: rotori rigidi (diagrammi di Campbell e Bode e classificazione delle forzanti)

Lezione 10 (12/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali forzate: rotori rigidi (diagrammi di Campbell e Bode e classificazione delle forzanti)

Lezione 11 (13/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali forzate: rotori rigidi (diagrammi di Campbell e Bode e classificazione delle forzanti)

Lezione 12 (16/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali libere: rotori flessibili (elementi disco)

Lezione 13 (19/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali libere: rotori flessibili (elementi albero (Eulero-Bernoulli))

Lezione 14 (20/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali libere: rotori flessibili (elementi albero Timoshenko)

Lezione 15 (23/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali libere: rotori flessibili (assemblaggio delle equazioni del moto e smorzamento)

Lezione 16 (26/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali libere: rotori flessibili (diagramma di Campbell e classificazione dei modi)

Lezione 17 (27/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali libere: rotori flessibili (cuscini a fluido, equazioni di Navier-Stokes)

Lezione 18 (30/10/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali libere: rotori flessibili (cuscini a fluido, equazione di Reynolds, calcolo dei coefficienti)

Lezione 19 (02/11/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali forzate: rotori flessibili (diagrammi di Campbell e Bode e classificazione delle forzanti)

Lezione 20 (03/11/20, 2 ore):

Vibrazioni flessionali forzate: rotori flessibili (diagrammi di Campbell e Bode e classificazione delle forzanti)

Lezione 21 (06/11/19, 2 ore):

Vibrazioni flessionali forzate: rotori flessibili (diagrammi di Campbell e Bode, classificazione delle forzanti e azione della gravità)

Lezione 22 (09/11/19, 2 ore):

Vibrazioni torsionali: modelli FEM

Lezione 23 (10/11/19, 2 ore):

Vibrazioni torsionali: modelli FEM

Lezione 24 (13/11/20, 2 ore):

Vibrazioni assiali: modelli FEM

Lezione 25 (16/11/20, 2 ore):

Vibrazioni assiali: modelli FEM

Lezione 26 (17/11/20, 2 ore):

Modelli di componenti complessi 3D e interazione fluido-struttura

Lezione 27 (20/11/20, 2 ore):

Modelli di rotori elastici complessi 3D e forzanti di fluido: equazioni di moto ed elementi concentrati

Lezione 28 (23/11/20, 2 ore):

Modelli di rotori elastici complessi 3D e forzanti di fluido: elementi distribuiti e assemblaggio delle equazioni

Lezione 29 (24/11/20, 2 ore):

Modelli di rotori elastici complessi 3D e forzanti di fluido: forzanti di fluido (palette e cuscini)

Lezione 30 (27/11/20, 2 ore):

Modelli di rotori elastici complessi 3D e forzanti di fluido: vibrazioni libere (diagramma di Campbell e classificazione dei modi)

Lezione 31 (30/11/20, 2 ore):

Modelli di rotori elastici complessi 3D e forzanti di fluido: vibrazioni forzate (classificazione delle forzanti, diagrammi di Campbell e Bode, e azione della gravità)

Lezione 32 (01/12/20, 2 ore):

Modelli di rotori elastici complessi 3D e forzanti di fluido: vibrazioni forzate (classificazione delle forzanti, diagrammi di Campbell e Bode, e azione della gravità)

Lezione 33 (04/12/20, 2 ore):

Ottimizzazione strutturale dei componenti

Lezione 34 (11/12/20, 2 ore):

Bilanciamento: metodo dei coefficienti di influenza (ICM)

Lezione 35 (14/12/20, 2 ore):

Bilanciamento: bilanciamento modale (MB)

Lezione 36 (15/12/20, 2 ore):

Normative in ambito rotordinamico

Norme API: sito API, rotordinamica, esempio API 684

Norme API: compressori e turbine, esempi API616, API617

Lezione 37 (18/12/20, 2 ore): XXX