

Docente responsabile dell'insegnamento/attività formativa

Nome

Cognome

Denominazione insegnamento/attività formativa

Italiano

English

Aree culturali

Informazioni insegnamento/attività formativa

A.A.

L

LM

LM CU

CdS

Codice

Canale

CFU

Lingua

Docente del modulo didattico (compilare solo per attività formative articolate in moduli)

Nome

Cognome

Denominazione modulo didattico (compilare solo per attività formative articolate in moduli)

Italiano

English



Obiettivi formativi e risultati di apprendimento attesi

Italiano

Aerospace Digital

CONOSCENZE E CAPACITÀ DI COMPrensIONE

L'insegnamento ha l'obiettivo di fornire conoscenze sugli aspetti metodologici, teorici e applicativi di argomenti avanzati del calcolo strutturale. In particolare sul progetto e verifica degli elementi di macchine e delle strutture meccaniche ove gli stati di tensione e di deformazione sono biassiali o triassiali, sollecitati sia in campo elastico sia oltre lo snervamento e soggetti a campi termici, **mediante l'utilizzazione di metodi sia teorico-analitici sia numerici**. L'insegnamento fornisce inoltre: conoscenze relative all'analisi, alla progettazione e alla verifica strutturale di macchine e sistemi meccanici complessi, utili **anche per applicazioni aeronautiche ed aerospaziali**, con riferimento alle condizioni di utilizzo note o stimate; conoscenze di base relative alla valutazione dell'affidabilità di componenti e sistemi meccanici; comprensione delle problematiche relative alle incertezze e alle situazioni che presentano specifiche contrastanti. **Gli studenti acquisiscono inoltre le basi teoriche per la simulazione numerica avanzata di elementi e sistemi meccanici.**

CAPACITÀ DI APPLICARE LA CONOSCENZA E COMPrensIONE

Al termine del corso, lo studente acquisirà le competenze necessarie per progettare e/o verificare elementi strutturali, gruppi meccanici e sistemi meccanici complessi di interesse industriale, garantendo la loro idoneità al servizio anche in riferimento alle normative di settore, verificando la resistenza e l'affidabilità. Lo studente sarà in grado di apprendere gli strumenti avanzati per modellare e risolvere complessi problemi di analisi strutturale sviluppando specifiche capacità di problem solving per risolvere i tipici problemi decisionali nei sistemi industriali e nell'ambito del reale interesse ingegneristico. Lo studente sarà inoltre in grado di risolvere problemi progettuali nuovi, definiti in modo incompleto o che presentano specifiche contrastanti, assumendo le opportune decisioni.

AUTONOMIA DEL GIUDIZIO E ABILITÀ COMUNICATIVE

Il riferimento ai contesti applicativi e normativi, la necessità di identificare elementi importanti e le loro relazioni nella definizione di un modello di simulazione stimolano l'autonomia del giudizio, mentre la sintesi richiesta nella definizione del modello attraverso uno strumento matematico adatto e la condivisione delle scelte effettuate stimola le abilità comunicative. Ciò contribuisce ad acquisire la capacità di integrare le conoscenze e gestirne la correlata complessità.

CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO

La capacità di apprendimento sarà favorita grazie all'esecuzione di esercitazioni individuali su alcuni temi suggeriti durante il corso. Inoltre verranno suggerite fonti bibliografiche e letture integrative per completare la preparazione in ambiti maggiormente specifici..



Aerospace Digital

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING.

The course aims to provide knowledge of methodological, theoretical and applied aspects of advanced structural analysis. In particular, the design of machine elements and mechanical structures where the stress states are biaxial or triaxial, stressed both in the elastic field and beyond yielding, and subjected to thermal fields, using both theoretical methods - analytical and numerical. Students will also acquire the theoretical basis for advanced numerical simulation of mechanical elements and systems, also useful for aeronautical and aerospace applications. The course also provides: knowledge related to the analysis, design and structural assessment of machines and complex mechanical systems with reference to known or estimated loading conditions; basic knowledge related to the assessment of reliability of mechanical components and systems; understanding of issues related to uncertainties and conflicting specification situations. Students will also acquire the theoretical basis for advanced simulation, including numerical simulation, of mechanical elements and systems.

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING.

At the end of the course the student will have acquired the necessary skills to design and/or verify structural elements and mechanical groups of industrial interest, guaranteeing their suitability for use, also with reference to sectoral regulations. The student will be able to learn advanced tools for modelling and solving complex structural analyses, developing specific problem-solving skills to solve typical decision-making problems in industrial systems and in the actual engineering context. The student will also be able to solve new design problems that are incompletely defined or have conflicting specifications, and make the appropriate decisions.

English

MAKING JUDGEMENTS AND COMMUNICATION SKILLS

The reference to application contexts and regulations, the need to identify important elements and their relationships in the definition of a simulation model stimulates judgement, while the synthesis required in the definition of the model through an appropriate mathematical tool and the sharing of the choices made stimulates communication skills. This supports the acquisition of the ability to integrate knowledge and manage the complexity involved.

LEARNING SKILLS

Learning skills will be promoted both through the performance of individual exercises assigned during the course and through a group design. In addition, bibliographical sources are suggested and additional reading is encouraged to complete the preparation in more specific areas.

Prerequisiti

Italiano

Non ci sono prerequisiti obbligatori da soddisfare. Tuttavia, è altamente raccomandato possedere le conoscenze nelle aree di meccanica delle strutture e dei fondamenti della costruzione di macchine, meccanica applicata alle macchine, scienza delle costruzioni, processi e sistemi di lavorazione meccanica. In particolare è raccomandata la conoscenza dell'analisi cinematica e delle soluzioni di travi, casi di De Saint-Venant, analisi di tensione e deformazioni monodimensionali, concentrazione di tensione, teorie di rottura sotto carico statico.

English

There are no mandatory prerequisites. However, it is highly recommended to possess the basic knowledge of Mechanics of Structures and Basic Machine design, Mechanics Applied to Machines, Strength of Materials, Manufacturing Processes and Systems. In particular it is recommended the knowledge of kinematic analysis and solutions of beams, De Saint-Venant cases, 1D stress and strain analysis, stress concentrations, failure theories and assessment under static loading.

Programma

Italiano

Aerospace Digital Mobility Sustainability

1. Analisi delle tensioni nei rotori

1.1 Analisi delle tensioni nei dischi sollecitati in campo lineare elastico. Generalità; teoria unidimensionale del disco sottile; equazioni di equilibrio e di congruenza; equazione differenziale generale del disco rotante soggetto a campo termico; disco di spessore costante (forato e non forato, variamente sollecitato, soggetto anche a campo termico **nonché caratterizzato da variazione della massa volumica lungo il raggio**); disco forato a profilo iperbolico variamente sollecitato nonché soggetto a campo di temperatura; disco di uniforme resistenza; disco a profilo conico forato e non forato, di densità costante o variabile lungo il raggio, variamente sollecitato anche da temperatura; disco di spessore variabile secondo una potenza di una funzione lineare di densità costante o variabile lungo il raggio, variamente sollecitato anche da temperatura; disco avente profilo arbitrario: **metodo di Timoshenko- Grammel e metodo di Manson**; disco di spessore costante e disco di spessore variabile secondo una potenza di una funzione lineare, soggetti ad accelerazioni angolari; verifiche di resistenza dei dischi rotanti e concentrazioni di tensione; normative inerenti agli organi rotanti delle macchine.

1.2 Analisi delle tensioni nei cilindri rotanti sollecitati in campo lineare elastico.

Generalità ed equazioni fondamentali; solido cilindrico con estremità vincolate od illimitatamente esteso nella direzione del suo asse, soggetto a campo centrifugo ed a campo termico; solido cilindrico di lunghezza finita con estremità libere e soggetto a campo centrifugo ed a campo termico (tensioni, per effetto di bordo, alle estremità libere); solido cilindrico di lunghezza finita, pieno e con estremità libere, soggetto a transitorio termico.

1.3 Analisi delle tensioni nei dischi sollecitati oltre lo snervamento.

Generalità e limiti della trattazione per materiali non incrudenti: disco forato e disco non forato, stati di tensione nella zona elastica ed in quella plastica, tensioni residue da overspeeding e velocità angolare di esplosione. **Due metodi generali per materiali incrudenti: metodo di Millenson- Manson, come estensione del metodo di Manson al campo elastoplastico**; metodo analitico generale. Utilizzazione progettuale della plasticizzazione e fattore di progetto limite.

2. Analisi delle tensioni nei solidi cilindrici soggetti a pressione ed a gradiente di temperatura lungo lo spessore.

2.1 Solidi cilindrici a parete sottile sollecitati in campo elastico.

Generalità; solidi cilindrici soggetti a pressione interna e/o esterna: stati di tensione e di deformazione, criteri di resistenza e loro confronto, relazioni di progetto e di verifica; instabilità dei solidi cilindrici soggetti a pressione esterna, anche in presenza di errori iniziali; instabilità dei solidi cilindrici soggetti a carico assiale: instabilità globale ed instabilità locale. Tensioni termiche da gradiente di temperatura lungo lo spessore.



Italiano

2.2 Solidi cilindrici in parete spessa sollecitati in campo elastico.

Generalità; solidi cilindrici soggetti a pressione interna e/o esterna: stati di tensione e di deformazione, criteri di resistenza e loro confronto, relazioni di progetto e di verifica; solidi cilindrici soggetti a gradiente di temperatura lungo lo spessore; cilindri coassiali accoppiati con interferenza e loro ottimizzazione; calettamento forzato di un mozzo su di un albero ed effetto della forza centrifuga; strutture cilindriche e serbatoi multistrato e loro ottimizzazione.

3. Analisi delle tensioni nelle piastre.

3.1 Piastre rettangolari

Flessione pura della piastra rettangolare lunga: equazione differenziale di governo e sua integrazione. Flessione pura di piastre rettangolari di dimensioni finite, correlazioni tra momenti flettenti e curvatura, casi particolari di flessione pura, limiti della teoria per piccoli spostamenti e tensioni termiche in piastre con i bordi incastrati. Piastra rettangolare soggetta a carichi laterali nell'ipotesi di piccoli spostamenti.

3.2 Piastre circolari

Equazione differenziale delle piastre circolari assialsimmetriche, soggette a carichi laterali e sua integrazione. Piastra circolare caricata uniformemente, piastra circolare caricata concentricamente, piastra circolare caricata al centro e correzione della teoria elementare per tener conto del taglio.

3.3 Piastre circolari di spessore non uniforme

Equazioni differenziali e loro integrazione per piastre circolari di spessore non uniforme. Cenni su: piastra di Pichler e piastra di Conway, variazione dello spessore con legge proposta da Vivio e Vullo.

4. Analisi delle tensioni in strutture a guscio.

4.1 Teoria della membrana per gusci di rivoluzione

Generalità e teoria della membrana per un guscio di rivoluzione. Correlazioni tra caratteristiche della sollecitazione e caratteristiche della tensione in una struttura a guscio e tra caratteristiche della deformazione e curvatura e torsione della superficie. Gusci di rivoluzione caricati assialsimmetricamente: teoria della membrana. Vari casi di gusci di rivoluzione diversamente caricati. Cenni ai gusci di uniforme resistenza. Spostamenti e rotazioni nei gusci di rivoluzione caricati simmetricamente.

4.2 [Teoria generale \(o flessionale\) del guscio cilindrico](#) soggetto a carichi aventi simmetria assiale

[Generalità e relazioni fondamentali. Guscio cilindrico lungo soggetto a carichi concentrati ad una estremità. Guscio cilindrico vincolato ai bordi e soggetto a pressione interna uniforme. Guscio cilindrico lungo soggetto a carico concentrato, uniformemente distribuito in una sezione circolare. Guscio cilindrico lungo soggetto a carico distribuito su un tratto di lunghezza finita. Analisi di un guscio cilindrico rinforzato con anelli equidistanziati.](#)

5. Contenitori a pressione

Generalità. Contenitore cilindrico a pressione con fondi piani: fondo rigido e fondo deformabile nel suo piano. Contenitore cilindrico a pressione con fondi piani: fondo deformabile nel suo piano e piano medio non coincidente con il piano della giunzione. Contenitore cilindrico a pressione con fondi preformati a curva meridiana generatrice emisferica, torosferica o semiellittica. Il problema della discontinuità in un contenitore cilindrico a pressione con fondi a curva meridiana generatrice semiellittica. Contenitore a pressione a forma di toro. Riferimenti normativi sui solidi cilindrici e serbatoi a pressione.



English

Aerospace Digital Mobility Sustainability

1. Stress analysis of rotors.

1.1 mono-dimensional elastic theory of thin disk.

Introduction, equilibrium equations; compatibility equations; general differential equation for rotating disk subjected to thermal load; constant thickness rotating disk (solid or annular, with various loading conditions, also with thermal load); rotating disks having a fictitious density variation along the radius; annular disk having hyperbolic profile with various loading conditions (also with thermal load); uniform strength disk; conical disk and non-linear variable thickness disks (solid or annular, with various loading conditions, also with thermal load and **fictitious density variation along the radius**); **disk having arbitrary profile: Timoshenko-Grammel's method and Manson's method**; constant thickness disk and non-linear variable thickness disks subjected to angular acceleration; design of rotating disks and stress concentrations; codes and standards for the design of rotors.

1.2 Stress analysis of rotating cylinders in the linear elastic field.

Introduction and general equations; circular cylindrical body with clamped ends or indefinitely extended along its axis subjected to centrifugal and thermal loads; circular cylindrical body of finite length with free ends subjected to centrifugal and thermal loads; solid cylindrical body of finite length and with free ends, subjected to transient thermal loads.

1.3 Stress analysis in rotating disks loaded beyond yielding.

Basic hypotheses and their limitations for disks made of non-hardening materials: elastic and elastic-plastic analysis of rotating solid or annular disks; residual stresses by overspeeding, bursting angular speed. **Two general methods for hardening materials: Millenson-Manson's method and general analytical method**. Use of plasticity in design and limit-design factor.

2. Stress analysis of circular cylinders subjected to pressure and thermal field.

2.1 Thin-walled circular cylinders stressed in the linear elastic range.

Basic assumptions; stress and strain state in thin-walled circular cylinders under internal and external pressure; strength theories used in design and response analysis; design of thin-walled circular cylinders; effective hoop stress distribution through the wall thickness; instability of thin-walled circular cylinders under external pressure; effect of geometrical imperfections and circumferential stiffening rings; instability of thin-walled circular cylinders subjected to axial load: overall instability and local instability. Thermal stresses by temperature gradient along the thickness.

2.2 Thick-walled circular cylinders stressed in the linear elastic range.

Generality; axial, radial and hoop stress distributions through the wall thickness of thick-walled circular cylinders; analysis of strain state and displacements; strength theories used in design and response analysis; design of thick-walled circular cylinders; concentric circular cylinders assembled with an interference fit and optimization; optimizing two circular cylinders assembled with an interference fit and subjected to internal pressure; shrink-fit shaft/hub assemblies and effects of centrifugal force; multilayer circular cylindrical structures; circular cylinders subjected to a radial temperature gradient.



English

3. Stress analysis of plates.

3.1 Rectangular plates.

Bending of long rectangular plates to a cylindrical surface: differential equation and integration; pure bending of rectangular plates of finite size: slope and curvature of slightly bent plates and relationship between bending moments and curvature; particular cases of pure bending; limitations on the application of the derived formulae; thermal stresses in plates with clamped edges; small deflections of laterally loaded plates: differential equation of the deflection surface and boundary conditions.

3.2 Circular plates.

Differential equation for symmetrical bending of laterally loaded circular plates and integrations; uniformly loaded circular plates; circular plate with a circular hole at the centre; concentrically loaded circular plate; circular plate loaded at the centre; corrections to the elementary theory of symmetrical bending of circular plates to take into account the effect of shear forces and normal pressures on planes parallel to the middle surface;

3.3 Circular plates of non-uniform thickness.

Circular plates of non-uniform thickness: notes on Pichler's plate, Conway's plate, Vivio&Vullo plates.

4. Stress analysis of shells.

4.1 Shells without bending.

Definitions and notation; middle surface and principal curvatures; relations between stresses and stress resultants per unit length; components of strain, changes of curvature and twist of the middle surface; relations between stress resultants per unit length and changes of curvature and twist of the middle surface; shells in the form of a surface of revolution and loaded symmetrically with respect to their axis; membrane theory; particular cases of shells in the form of surfaces of revolution; shells of constant stresses; Displacements and rotations in symmetrically loaded revolution shells.

4.2 [General theory or bending theory of cylindrical shells](#) under axisymmetric loads.

[General considerations and fundamental relationship; long circular cylindrical shells subjected to concentrated loads on one edge; long circular cylindrical shells with constrained edges under uniform internal pressure; long circular cylindrical shells subjected to concentrated line load distributed uniformly along a circumference; long circular cylindrical shells subjected to load distributed through a portion of finite length. Analysis of circular cylindrical shells reinforced by equidistant stiffening rings.](#)

5. Pressure vessels.

Generality; cylindrical pressure vessels with flat-plate closures: closure absolutely rigid or deformable in its own plane; cylindrical pressure vessels with flat-plate closures: closure deformable in its own plane and middle plane which does not coincide with the junction plane; cylindrical pressure vessels with formed closures: hemispherical dished heads and elliptical dished heads; the problem of discontinuity in cylindrical pressure vessels with formed closures having semi-elliptical meridian curve; thickness discontinuities between circular cylindrical shells. Torus-shaped shell. Background to international technical standards for pressure vessels.



Modalità di valutazione

- Prova scritta
- Prova orale
- Valutazione in itinere
- Valutazione di progetto
- Valutazione di tirocinio
- Prova pratica
- Prova di laboratorio

Descrizione delle modalità e dei criteri di verifica dell'apprendimento

Italiano

L'esame si basa su una prova scritta seguita da una orale. Entrambi sono obbligatori e coprono tutti gli argomenti del corso. La prova scritta comprenderà la soluzione di due esercizi, volti a valutare la capacità di applicazione degli strumenti di analisi strutturale progettazione a casi pratici relativi a strutture a guscio e piastriformi. La prova orale è volta a valutare la conoscenza degli argomenti teorici inclusi nel programma e dimostrerà la capacità di discutere criticamente gli strumenti di modellazione teorica e progettazione, i loro limiti e condizioni di applicabilità. È inoltre inclusa la valutazione di esercitazioni proposte durante il corso il cui svolgimento è facoltativo.

In ogni caso la prova di esame valuta la preparazione complessiva dello studente, la capacità di integrazione delle conoscenze delle diverse parti del programma, la consequenzialità del ragionamento, la capacità analitica e la autonomia di giudizio. Inoltre vengono valutate la proprietà di linguaggio e la chiarezza espositiva, in aderenza con i descrittori di Dublino (1 - Conoscenza e capacità di comprensione; 2 - Capacità di applicare la conoscenza e comprensione; 3 - Autonomia di giudizio; 4 - Capacità di apprendimento; 5 - Abilità di comunicazione).



English

The examination consists of a written and an oral test. Both are compulsory and cover all the topics of the course. The written test will include the solution of two exercises aimed at assessing the ability to apply structural analysis and design tools to practical plate and shell structures. The oral test aims to assess the knowledge of the theoretical topics included in the programme and to demonstrate the ability to critically discuss the design tools and their limitations and/or applicability conditions.

It also includes the evaluation of exercises proposed during the course, the development of which is optional.

In any case, the final exam will assess the student's overall preparation, the ability to integrate knowledge of the different parts of the programme, the consistency of reasoning, analytical skills and autonomy of judgement, as well as language ownership and clarity of exposition, in accordance with the Dublin descriptors (1 - Knowledge and understanding; 2 - Applying knowledge and understanding; 3 - Making judgements; 4 - Learning skills; 5 - Communication skills).

Testi adottati

Italiano

V. Vullo, F. Vivio , "Rotors: Stress Analysis and Design", Springer, 2013.

V. Vullo, "Circular Cylinders and Pressure Vessels: Stress Analysis and Design", Springer, 2014.

Appunti delle lezioni del docente

English

Lecture notes V. Vullo, F. Vivio , "Rotors: Stress Analysis and Design", Springer, 2013.

V. Vullo, "Circular Cylinders and Pressure Vessels: Stress Analysis and Design", Springer, 2014.



Bibliografia di riferimento

Italiano/
English

Pacejka HB (2002) Tyre and vehicle dynamics. Butterworth–Heinemann, Oxford
M. Guiggiani, The Science of Vehicle Dynamics, Springer, ISBN 978-94-017-8532-7
V. Vullo, F. Vivio , “Rotors: Stress Analysis and Design”, Springer, 2013.
V. Vullo, “Circular Cylinders and Pressure Vessels: Stress Analysis and Design”, Springer, 2014.
S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger, “Theory of Plates and Shells”, McGraw-Hill Book Co., 1959.
R. Giovannozzi, “Costruzione di Macchine”, Vol. II5aEd., Pàtron, Bologna, 1980.

V. Vullo, F. Vivio , “Rotors: Stress Analysis and Design”, Springer, 2013.
V. Vullo, “Circular Cylinders and Pressure Vessels: Stress Analysis and Design”, Springer, 2014.
S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger, “Theory of Plates and Shells”, McGraw-Hill Book Co., 1959.
R. Giovannozzi, “Costruzione di Macchine”, Vol. II5aEd., Pàtron, Bologna, 1980.

Modalità di svolgimento

- Modalità in presenza
- Modalità a distanza

Descrizione della modalità di svolgimento e metodi didattici adottati

Italiano

Il metodo di insegnamento del corso segue un modello didattico tradizionale basato su lezioni frontali ed esercitazioni.
Il corso viene svolto alla lavagna insieme con slide powerpoint.
Sono inoltre tenute esercitazioni in classe con l'obiettivo di applicare a casi di interesse pratico le conoscenze sviluppate durante le lezioni teoriche. Si farà particolare riferimento alle implicazioni progettuali delle conoscenze sviluppate.
Il materiale didattico è disponibile prima delle lezioni.



English

The teaching method of the course follows a traditional teaching model based on lectures and exercises, using blackboard and PowerPoint slides. There will also be class exercises to apply the knowledge developed in the theoretical lessons to cases of practical interest. Special attention will be given to the design implications of the knowledge developed. Lecture materials will be available before classes.

Modalità di frequenza

- Frequenza facoltativa
- Frequenza obbligatoria

Descrizione della modalità di frequenza

Italiano

La frequenza non è obbligatoria ma è fortemente consigliata; il materiale didattico è sempre a disposizione anche di studenti non frequentanti per la preparazione alle parti sia scritte che orali.

English

Attendance is not mandatory, but is strongly recommended; study materials are available for non-attending students to prepare for the written and oral examinations.