

|                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FACOLTÀ</b>                                                    | INGEGNERIA                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>ANNO ACCADEMICO</b>                                            | 2014-2015                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>CORSO DI LAUREA MAGISTRALE</b>                                 | Ingegneria Civile                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>INSEGNAMENTO</b>                                               | Teoria delle Strutture                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>TIPO DI ATTIVITÀ</b>                                           | Caratterizzante                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>AMBITO DISCIPLINARE</b>                                        | Ingegneria Civile                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>CODICE INSEGNAMENTO</b>                                        | 10829                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>ARTICOLAZIONE IN MODULI</b>                                    | NO                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>NUMERO MODULI</b>                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>SETTORI SCIENTIFICO DISCIPLINARI</b>                           | ICAR/08                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>DOCENTE RESPONSABILE</b>                                       | Nome e Cognome - Guido Borino<br>Qualifica - Professore Ordinario<br>Università di appartenenza - Palermo                                                                                                                                                          |
| <b>CFU</b>                                                        | 6                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>              | 98                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITÀ DIDATTICHE ASSISTITE</b> | 52<br>28 ore di Lezioni + 24 ore di esercitazioni                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>PROPEDEUTICITÀ</b>                                             | Avere sostenuto nella laurea triennale il corso di Scienza delle Costruzioni.<br>Conoscenze di Analisi Matematica: equazioni differenziali alle derivate parziali, calcolo differenziale e integrali. Conoscenze di base di meccanica dei solidi e delle strutture |
| <b>ANNO DI CORSO</b>                                              | II                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>SEDE DI SVOLGIMENTO DELLE LEZIONI</b>                          | Consultare il sito <a href="http://www.ingegneria.unipa.it">www.ingegneria.unipa.it</a>                                                                                                                                                                            |
| <b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b>                             | Lezioni frontali e Esercitazioni in aula                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>MODALITÀ DI FREQUENZA</b>                                      | Facoltativa<br>(frequenza fortemente raccomandata)                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>METODI DI VALUTAZIONE</b>                                      | Prova Orale finale                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>                                        | Voto in trentesimi                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>                                      | Consultare il sito <a href="http://www.ingegneria.unipa.it">www.ingegneria.unipa.it</a>                                                                                                                                                                            |
| <b>CALENDARIO DELLE ATTIVITÀ DIDATTICHE</b>                       | Consultare il sito <a href="http://www.ingegneria.unipa.it">www.ingegneria.unipa.it</a>                                                                                                                                                                            |
| <b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>                       | Lunedì ore 11:00-13:00                                                                                                                                                                                                                                             |

## **RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI**

### **Conoscenza e capacità di comprensione**

- Lo studente al termine del Corso avrà conoscenza supplementari a quelle impartite dal corso di scienza delle costruzioni. In particolare conoscerà estensioni della teoria tecnica della trave a travi ad asse curvilineo e a elementi strutturali a parete sottile. Si estenderanno le conoscenze dai sistemi strutturali monodimensionali strutture bidimensionali piane, quali lastre, piastre e gusci. Si distingueranno stati piani di tensione e stati piani di deformazione. Conoscerà lo stato di deformazione indotto nelle piastre le sollecitazioni flessionali e membranali e il corretto modo di imporre l'equilibrio. Avrà inoltre la conoscenza di: metodi di risoluzione classiche per sviluppo in serie e dei metodi moderni agli elementi finiti. Stato di deformazione e condizioni di sforzo per solidi sottili a semplice o doppia curvatura (gusci).

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione**

- Lo studente dovrà essere in grado di impostare le equazioni di governo del problema elastico in condizioni di deformazione o di tensione piana analizzando le differenti condizioni di sollecitazione. Comprendere i limiti delle tradizionali teorie monodimensionali ed applicare teorie più avanzate quando necessario. Dovrà essere inoltre capace di impostare problemi relativi a piastre inflesse e ricercarne la risposta con il metodo più appropriato; analizzare lo stato di sforzo nelle piastre e rappresentarlo, sia analiticamente attraverso espressioni funzionali, che graficamente attraverso diagrammi; saper determinare gli spostamenti e le deformazioni elastiche e termiche.

#### **Autonomia di giudizio**

- Lo studente sarà messo nelle condizioni di valutare in modo critico ed autonomo:
  - la validità ed i limiti di approssimazione dei modelli strutturali piani con riferimento ai modelli completi tridimensionali;
  - le condizioni di applicabilità dei modelli strutturali comunemente adottati per descrivere strutture reali;
  - livelli di accuratezza e correlato grado di difficoltà analitica legato alla modellazione di elementi strutturali e di strutture.

#### **Abilità comunicative**

- Lo studente sarà stimolato con discussioni in aula ad acquisire la capacità di comunicare ed esprimere problematiche inerenti l'oggetto del corso. Sarà in grado di sostenere conversazioni su tematiche relative agli aspetti legati alla teoria delle strutture (stato di tensione e deformazione per lastre e piastre, reazioni dei vincoli e condizioni di massima sollecitazione) facendo ricorso ad una terminologia scientifica adeguata, e agli strumenti della rappresentazione matematica dei principali fenomeni meccanici descritti.

#### **Capacità d'apprendimento**

- Lo studente avrà appreso i principi fondamentali della teoria elastica di travi ad asse curvilineo e delle strutture bidimensionali, a completamento dei sistemi monodimensionali a travi ad asse rettilineo acquisiti nel corso di base di Scienza delle costruzioni. Queste conoscenze contribuiranno alla formazione del suo bagaglio di conoscenze di meccanica applicata ai materiali ed alle strutture e rappresenta una formazione avanzata ingegneristica che gli consentirà di proseguire gli studi ingegneristici magistrali, approfondendo nei corsi successivi aspetti di progettazione strutturale, forte di un bagaglio di conoscenze di Teoria delle Strutture che gli consentiranno autonomia e discernimento.

#### **OBIETTIVI FORMATIVI**

Obiettivo primario del modulo è fornire le cognizioni avanzate sulla meccanica dei sistemi di travi ad asse curvilineo, di sistemi strutturali a parete sottile e delle Strutture bidimensionali inflesse estendendo ed approfondendo le conoscenze di base sviluppate nel corso di Scienza delle Costruzioni. Il corso sviluppa rigorosamente i presupposti teorici della meccanica strutturale per sistemi a sviluppo bidimensionale (piastre e gusci) mettendo a fuoco le relazioni fondamentali: equilibrio, congruenza, principio dei lavori virtuali, equazioni di legame. Il modulo inoltre intende formare lo studente alla risoluzione analitica e numerica del problema elastico delle piastre fornendo approcci analitici e numerici..

Il corso si pone da un punto di vista metodologico come uno snodo essenziale per l'ingegnere che vuole possedere competenze strutturali prima di affrontare insegnamenti strettamente ingegneristici relativi alla progettazione esecutiva e di dettaglio delle strutture.

|                     | <b>TEORIA DELLE STRUTTURE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ORE FRONTALI</b> | <b>LEZIONI FRONTALI</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 4                   | <b>A. TRAVI AD ASSE CURVILINEO E STRUTTURE A PARETE SOTTILE</b><br><b>A1. Travi ad asse curvilineo</b><br>Richiamo della teoria tecnica della trave, differenza fra il modello di Eulero-Bernoulli e Timoshenko. Trave ad asse curvilineo: definizione delle sollecitazioni, equazioni indefinite di equilibrio e condizioni statiche al contorno. Equazioni di congruenza ricavate al PLV. Equazioni costitutive elastiche. Sollecitazioni ridotte. Stato tensionale nelle sezioni. |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>A2. Strutture a parete sottile</b><br>Limiti del postlato di St. Venant. Torsione e centro di torsione. Area settoriale. Torsione non uniforme. Sforzi di taglio secondari.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B. STRUTTURE PIANE</b><br><b>B1. Introduzione</b><br>Definizione dei sistemi piani lastre e piastre e nomenclatura                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B2. Problemi piani di tensione e deformazione</b><br>Equazioni che descrivono il problema piano di tensione e di deformazione. Risoluzione in termini di spostamenti e di sforzi. Funzione delle tensioni.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B3. Problemi espressi in coordinate polari</b><br>Equazioni di equilibrio e di congruenza in coordinate polari. Equazioni costitutive elastiche. Stati piani simmetrici.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B4. Equazioni delle piastre inflesse</b><br>Cinematica, capo di spostamenti e definizione delle deformazioni per il comportamento a lastra e a piastra (teoria di Kirchhoff). Stato di tensione e sollecitazioni per lastre e piastre. Equazioni di congruenza sul dominio e sul contorno vincolato. Equazioni di equilibrio indefinite sul dominio e sul contorno libero. Equazioni costitutive elastiche. Condizioni di vincolo ed equazioni differenziali del problema elastico agli spostamenti. Principio dei lavori virtuali per le condizioni di equilibrio |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B5. Metodi di risoluzione per sviluppo in serie per piastre rettangolari</b><br>Sviluppo in serie semplice per piastre inflesse. Applicazioni. Sviluppo in serie doppia. Applicazioni. Andamento degli spostamenti, delle deformazioni e delle sollecitazioni.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B6. Piastre circolari</b><br>Equazioni che descrivono lo stato di deformazione, sollecitazione e relazioni elastiche per piastre circolari in condizione di vincolo e di carico assiale-simmetrico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B7. Cenni sulla risoluzione delle piastre con il metodo degli elementi finiti.</b><br>Principio dei lavori virtuali per piastre inflesse (teoria di Kirchhoff). Tecniche di discretizzazione agli elementi finiti (EF). Caratteristiche degli EF più comuni.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B8. Elementi di analisi di gusci</b><br>Caratterizzazione geometrica dei gusci a semplice e a doppia curvature. Stato di deformazione e stato di sollecitazione. Distinzione fra prevalente regime membranale e flessionale. Equazioni di equilibrio. Analisi di alcuni semplici problemi.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>ESERCITAZIONI</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>A-E1. Esercizi ed Applicazioni per travi ad asse curvilineo</b><br>Risoluzione di archi e di travi ad asse circolare attraverso l'integrazione dell'equazioni differenziale del sistema.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>A-E2. Esercizi ed Applicazioni su strutture a parete sottile</b><br>Calcolo del centro di torsione e di taglio per alcune tipologie di sezione a parete sottile. Esempi di calcolo di grandezze settoriali.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>A-E3. Esercizi ed Applicazioni di problemi piani</b><br>Risoluzione di semplici problemi piani. Funzioni delle tensioni..                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>A-E4. Esercizi ed Applicazioni di problemi piani in coordinate polari</b><br>Risoluzione di semplici problemi di lastre circolari. Risoluzione di strutture cilindriche soggette a una pressione uniforme.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B-E1. Risoluzione per sviluppo in serie per piastre rettangolari</b><br>Sviluppo in serie semplice per piastre inflesse<br>Sviluppo in serie doppia.<br>Tracciare andamento degli spostamenti, delle deformazioni e delle sollecitazioni.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B-E2. Esercizi ed Applicazioni per Piastre circolari</b><br>Piastre circolari in condizione di vincolo e di carico assiale-simmetrico.<br>Risoluzione analitica e applicazioni.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>B-E3. Risoluzione delle piastre con il metodo degli elementi finiti.</b><br>Applicazioni di discretizzazione agli elementi finiti (EF). Esercizi ed Applicazioni con EF più comuni, triangolari e quadrangolari                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>TESTI CONSIGLIATI</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• E. Viola, Teoria delle Strutture. Volume primo. Pitagora Editrice Bologna, 2010</li> <li>• L. Corradi Dell'Acqua, <b>Meccanica delle Strutture</b>, vol.2 e 3, Mc Graw Hill, 1992</li> <li>• S. Timoshenko, S. Woinowsky-Kriger, <b>Theory of Plates and Shells</b>, II Edition, Mc Graw Hill, 1970</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |