



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

|                                                  |                                                                                                                                                         |                                    |                  |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------|
| DIPARTIMENTO                                     | Ingegneria                                                                                                                                              |                                    |                  |
| ANNO ACCADEMICO OFFERTA                          | 2019/2020                                                                                                                                               |                                    |                  |
| ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE                       | 2020/2021                                                                                                                                               |                                    |                  |
| CORSO DILAUREA MAGISTRALE                        | INGEGNERIA CIVILE                                                                                                                                       |                                    |                  |
| INSEGNAMENTO                                     | TEORIA DELLE STRUTTURE                                                                                                                                  |                                    |                  |
| TIPO DI ATTIVITA'                                | B                                                                                                                                                       |                                    |                  |
| AMBITO                                           | 50353-Ingegneria civile                                                                                                                                 |                                    |                  |
| CODICE INSEGNAMENTO                              | 10829                                                                                                                                                   |                                    |                  |
| SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI                 | ICAR/08                                                                                                                                                 |                                    |                  |
| DOCENTE RESPONSABILE                             | LA MALFA RIBOLLA<br>EMMA                                                                                                                                | Ricercatore a tempo<br>determinato | Univ. di PALERMO |
| ALTRI DOCENTI                                    |                                                                                                                                                         |                                    |                  |
| CFU                                              | 6                                                                                                                                                       |                                    |                  |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE    | 96                                                                                                                                                      |                                    |                  |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA | 54                                                                                                                                                      |                                    |                  |
| PROPEDEUTICITA'                                  |                                                                                                                                                         |                                    |                  |
| MUTUAZIONI                                       |                                                                                                                                                         |                                    |                  |
| ANNO DI CORSO                                    | 2                                                                                                                                                       |                                    |                  |
| PERIODO DELLE LEZIONI                            | 2° semestre                                                                                                                                             |                                    |                  |
| MODALITA' DI FREQUENZA                           | Facoltativa                                                                                                                                             |                                    |                  |
| TIPO DI VALUTAZIONE                              | Voto in trentesimi                                                                                                                                      |                                    |                  |
| ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI             | LA MALFA RIBOLLA<br>EMMA<br>Venerdì    15:30    17:30    Stanza docente (Dipartimento di ingegneria, ed.8, sezione strutture, primo piano, studio 1162) |                                    |                  |

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PREREQUISITI</b>                      | Lo studente che frequenta il corso conosce e sa utilizzare i concetti base dell'analisi matematica, dell'algebra lineare, della geometria e della meccanica strutturale. E' essenziale avere seguito e superato un corso di Scienza delle Costruzioni.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b> | <p><b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b></p> <p>Conoscenza e capacita' di comprensione</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Lo studente al termine del Corso avra' 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. Conoscera' lo stato di deformazione indotto nelle piastre le sollecitazioni flessionali e membranali e il corretto modo di imporre l'equilibrio. Avra' inoltre la conoscenza di: metodi di risoluzione classiche per sviluppo in serie e dei metodi moderni agli elementi finiti.</li></ul> <p>Capacita' di applicare conoscenza e comprensione</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Lo studente dovra' 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 piu' avanzate quando necessario. Dovra' essere inoltre capace di impostare problemi relativi a piastre inflesse e ricercarne la risposta con il metodo piu' 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.</li></ul> <p>Autonomia di giudizio</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Lo studente sara' messo nelle condizioni di valutare in modo critico ed autonomo:<ul style="list-style-type: none"><li>- la validita' ed i limiti di approssimazione dei modelli strutturali piani con riferimento ai modelli completi tridimensionali;</li><li>- le condizioni di applicabilita' dei modelli strutturali comunemente adottati per descrivere strutture reali;</li><li>- livelli di accuratezza e correlato grado di difficolta' analitica legato alla modellazione di elementi strutturali e di strutture.</li></ul></li></ul> <p>Abilita' comunicative</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Lo studente sara' stimolato con discussioni in aula ad acquisire la capacita' di comunicare ed esprimere problematiche inerenti l'oggetto del corso. Sara' 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.</li></ul> <p>Capacita' d'apprendimento</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Lo studente avra' 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 consentira' 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.</li></ul> |
| <b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>    | <p>La verifica dell'apprendimento avviene attraverso un esame orale finale, che accerta l'acquisizione delle conoscenze e delle abilita' attese.</p> <p>La prova orale consiste in due o tre domande che tendono ad accertare la conoscenza da parte dello studente degli argomenti teorici ed applicativi trattati nelle lezioni e nelle esercitazioni.</p> <p>Il punteggio della prova d'esame e' attribuito mediante un voto espresso in trentesimi.</p> <p>Per superare l'esame, ottenere quindi un voto non inferiore a 18/30, lo studente deve dimostrare un raggiungimento elementare degli obiettivi. Gli obiettivi raggiunti si considerano elementari quando lo studente dimostra di avere acquisito una conoscenza di base degli argomenti descritti nel programma, e' in grado di operare minimi collegamenti fra di loro, dimostra di avere acquisito una limitata autonomia di giudizio; il suo linguaggio e' sufficiente a comunicare con gli esaminatori.</p> <p>Per conseguire un punteggio pari a 30/30 e lode, lo studente deve invece dimostrare di aver raggiunto in maniera eccellente gli obiettivi previsti. Gli</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | <p>obiettivi raggiunti si considerano eccellenti quando l'esaminando/a ha acquisito la piena conoscenza degli argomenti del programma, dimostra di saper applicare la conoscenza acquisita anche in contesti differenti /nuovi/avanzati rispetto a quelli propri dell'insegnamento, si esprime con competenza lessicale anche nell'ambito del linguaggio specifico di riferimento ed e in grado di elaborare ed esprimere giudizi autonomi fondati sulle conoscenze acquisite.</p> <p>L'esame orale consiste in alcune domande che tendono accertare la conoscenza da parte dello studente degli argomenti trattati a lezione.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>            | <p><b>OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO</b></p> <p>Obiettivo primario del corso e' 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..</p> <p>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.</p> |
| <b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b> | <p>Il programma del corso viene interamente svolto durante le ore di lezione. Le lezioni sono affiancate da esercitazioni in aula, con lo scopo di guidare gli studenti alla risoluzione di problemi specifici di Teoria delle strutture sulla base delle conoscenze acquisite a lezione</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <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, Meccanica delle Strutture, vol.2 e 3, Mc Graw Hill, 1992</li> <li>•S. Timoshenko, S. Woinowsky-Kriger, Theory of Plates and Shells, II Edition, Mc Graw Hill, 1970</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

### PROGRAMMA

| <b>ORE</b> | <b>Lezioni</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4          | <p><b>A. TRAVI AD ASSE CURVILINEO E STRUTTURE A PARETE SOTTILE</b></p> <p>A1. Travi ad asse curvilineo<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.</p>                                                                              |
| 4          | <p>A2. Strutture a parete sottile<br/>Limiti del postulato di St. Venant. Torsione e centro di torsione. Area settoriale. Torsione non uniforme. Sforzi di taglio secondari.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1          | <p><b>B. STRUTTURE PIANE</b></p> <p>B1. Introduzione<br/>Definizione dei sistemi piani lastre e piastre e nomenclatura</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 3          | <p>B2. Problemi piani di tensione e deformazione<br/>Equazioni che descrivono il problema piano di tensione e di deformazione. Risoluzione in termini di spostamenti e di sforzi. Funzione delle tensioni.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 3          | <p>B3. Problemi espressi in coordinate polari.<br/>Equazioni di equilibrio e di congruenza in coordinate polari. Equazioni costitutive elastiche. Stati piani simmetrici.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 6          | <p>B4. Equazioni delle piastre inflesse<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</p> |
| 2          | <p>B5. Metodi di risoluzione per sviluppo in serie per piastre rettangolari<br/>Sviluppo in serie semplice per piastre inflesse. Applicazioni. Sviluppo in serie doppia. Applicazioni. Andamento degli spostamenti, delle deformazioni e delle sollecitazioni.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2          | <p>B6. Piastre circolari<br/>Equazioni che descrivono lo stato di deformazione, sollecitazione e relazioni elastiche per piastre circolari in condizione di vincolo e di carico assial-simmetrico.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2          | <p>B7. Cenni sulla risoluzione delle piastre con il metodo degli elementi finiti.<br/>Principio dei lavori virtuali per piastre inflesse (teoria di Kirchhoff). Tecniche di discretizzazione agli elementi finiti (EF). Caratteristiche degli EF piu' comuni.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

## PROGRAMMA

| ORE | Lezioni                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | B8. Elementi di analisi di gusci<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. |
| ORE | Esercitazioni                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3   | A-E1. Esercizi ed Applicazioni per travi ad asse curvilineo<br>Risoluzione di archi e di travi ad asse circolare attraverso l'integrazione dell'equazione differenziale del sistema.                                                                                                   |
| 3   | A-E2. Esercizi ed Applicazioni su strutture a parete sottile<br>Calcolo del centro di torsione e di taglio per alcune tipologie di sezione a parete sottile. Esempi di calcolo di grandezze settoriali.                                                                                |
| 3   | A-E3. Esercizi ed Applicazioni di problemi piani<br>Risoluzione di semplici problemi piani. Funzioni delle tensioni..                                                                                                                                                                  |
| 4   | A-E4. Esercizi ed Applicazioni di problemi piani in coordinate polari<br>Risoluzione di semplici problemi di lastre circolari. Risoluzione di strutture cilindriche soggette a una pressione uniforme.                                                                                 |
| 6   | B-E1. Risoluzione per sviluppo in serie per piastre rettangolari<br>Sviluppo in serie semplice per piastre inflesse<br>Sviluppo in serie doppia.<br>Tracciare andamento degli spostamenti, delle deformazioni e delle sollecitazioni.                                                  |
| 4   | B-E2. Esercizi ed Applicazioni per Piastre circolari<br>Piastre circolari in condizione di vincolo e di carico assial-simmetrico.<br>Risoluzione analitica e applicazioni.                                                                                                             |
| 3   | B-E3. Risoluzione delle piastre con il metodo degli elementi finiti.<br>Applicazioni di discretizzazione agli elementi finiti (EF). Esercizi ed Applicazioni con EF piu' comuni, triangolari e quadrangolari                                                                           |