

|                                                                   |                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FACOLTÀ</b>                                                    | INGEGNERIA                                                                                           |
| <b>ANNO ACCADEMICO</b>                                            | 2014/15                                                                                              |
| <b>CORSO DI LAUREA MAGISTRALE</b>                                 | Ingegneria Civile                                                                                    |
| <b>INSEGNAMENTO</b>                                               | Meccanica Computazionale delle Strutture                                                             |
| <b>TIPO DI ATTIVITÀ</b>                                           | Caratterizzante                                                                                      |
| <b>AMBITO DISCIPLINARE</b>                                        | Ingegneria Civile                                                                                    |
| <b>CODICE INSEGNAMENTO</b>                                        | 09136                                                                                                |
| <b>ARTICOLAZIONE IN MODULI</b>                                    | No                                                                                                   |
| <b>NUMERO MODULI</b>                                              |                                                                                                      |
| <b>SETTORI SCIENTIFICO DISCIPLINARI</b>                           | ICAR/08                                                                                              |
| <b>DOCENTE RESPONSABILE</b>                                       | Francesco Parrinello<br>Ricercatore Confermato<br>Università di Palermo                              |
| <b>CFU</b>                                                        | 6                                                                                                    |
| <b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>              | 96                                                                                                   |
| <b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITÀ DIDATTICHE ASSISTITE</b> | 54                                                                                                   |
| <b>PROPEDEUTICITÀ</b>                                             | Nessuna                                                                                              |
| <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, Esercitazioni in aula, Applicazioni software                                       |
| <b>MODALITÀ DI FREQUENZA</b>                                      | Facoltativa                                                                                          |
| <b>METODI DI VALUTAZIONE</b>                                      | Prova Orale e Presentazione e discussione di un progetto strutturale eseguito con codice di calcolo. |
| <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>                       | Martedì, ore 10-13.                                                                                  |

## **RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI**

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

Lo studente al termine del Corso avrà conoscenza delle problematiche inerenti il calcolo strutturale attraverso l'uso dei calcolatori; avrà conoscenza delle procedure matematiche che portano alla risoluzione del problema elastico per strutture intelaiate (metodo diretto delle rigidità) e per sistemi continui (metodo degli elementi finiti). Sarà in grado di comprendere il funzionamento dei programmi di calcolo strutturale, di conoscerne i limiti e i campi di applicabilità.

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

Lo studente sarà in grado di applicare in modo critico i software di calcolo strutturali per l'analisi elastica delle più comuni tipologie di strutture, avrà adeguata conoscenza delle tipologie di problemi che si possono essere affrontare.

### **Autonomia di giudizio**

Lo studente avrà la capacità di giudicare gli strumenti computazionali più adeguati alla risoluzione

delle varie tipologie strutturali e delle diverse condizioni di carico, nonché la capacità di valutare se una soluzione approssimata è sufficientemente prossima a quella esatta.

#### **Abilità comunicative**

Lo studente avrà conoscenza della terminologia specifica della meccanica computazionale, capacità di esporre problematiche inerenti il calcolo strutturale e di collaborare alla realizzazione di progetti di calcolo realizzati in gruppo.

#### **Capacità d'apprendimento**

Lo studente avrà possibilità di apprendere importanti tematiche di base della meccanica computazionale e di conoscere ed utilizzare alcuni dei più importanti programmi di calcolo agli elementi finiti presenti in commercio.

#### **OBIETTIVI FORMATIVI**

L'obiettivo principale del corso è quello di fornire agli allievi le conoscenze teoriche basilari della meccanica computazionale e di consentire agli stessi la conoscenza diretta degli strumenti di calcolo agli elementi finiti, tramite la risoluzione in aula di un sufficiente numero di problemi di calcolo strutturale.

| ORE FRONTALI | LEZIONI FRONTALI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2            | <b>A1. Metodo diretto delle rigidezze</b><br>Idealizzazione e discretizzazione della struttura.<br>Scomposizione in elementi finiti.<br>Modellazione del singolo elemento finito.<br>Trasformazione del sistema di riferimento.<br>Assemblaggio, condizioni al contorno e risoluzione.                                                      |
| 2            | <b>A2. Elementi finiti monodimensionali</b><br>Costruzione dell'elemento asta per travature reticolari.<br>Costruzione elemento trave a comportamento flessionale.<br>Calcolo della matrice di rigidezza locale per la trave piana.                                                                                                         |
| 2            | <b>A3. Aspetti di carattere computazionale</b><br>Assemblaggio del sistema di equazioni lineari.<br>Condizioni al contorno.<br>Numerazione ottimale dei nodi.<br>Solutore a banda e solutore sparso.                                                                                                                                        |
| 2            | <b>B0. Metodo degli elementi finiti</b><br>Equazioni di governo del problema elastico.<br>Principio dei lavori virtuali primale e complementare.<br>Metodi variazionali:<br>- Funzionale energia potenziale totale.<br>- Funzionale energia potenziale complementare.<br>- Funzionale di Hellinger-Reissner.<br>- Funzionale di Hu-Washizu. |
| 2            | <b>B1. Risoluzione di problema monodimensionale</b><br>Soluzione di tentativo.<br>Formulazione interpolante e funzioni forma.<br>Gradi di libertà nodali.<br>Metodi di minimizzazione dell'errore.<br>Metodo di Raylight-Ritz.                                                                                                              |
| 2            | <b>B2. Trave di Eulero-Bernulli</b><br>Ipotesi cinematiche.<br>Funzioni forma e gradi di libertà.<br>Calcolo della matrice di rigidezza dell'elemento.<br>Elementi con vincoli di estremità diversi dall'incastro.                                                                                                                          |
| 2            | <b>B3. Trave di Timoshenko</b><br>Ipotesi cinematiche.<br>Area equivalente di taglio e coeff. di taglio.<br>Funzioni forma e gradi di libertà.<br>Risoluzione e confronto con modello di Bernulli-Navier.                                                                                                                                   |
| 2            | <b>B4. Convergenza della soluzione</b><br>Errore di approssimazione nel FEM.<br>Convergenza della soluzione approssimata.                                                                                                                                                                                                                   |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | Affinamento della soluzione: p e h refinement.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2                        | <b>B5. Problemi piani</b><br>Stato piano di tensione e di deformazione.<br>Problema assialsimmetrico.<br>Elementi finiti triangolari e rettangolari.<br>Risoluzione di alcuni problemi piani.                                                                                                                        |
| 4                        | <b>B6. Elementi finiti isoparametrici</b><br>Elemento reale e elemento naturale.<br>Sistema di riferimento reale e sistema naturale.<br>Mappatura tra i due elementi.<br>Trasformazione di coordinate e jacobiano.<br>Matrice di rigidezza dell'elemento.                                                            |
| 2                        | <b>B7. Tecniche di integrazione numerica</b><br>Metodi di integrazione approssimata.<br>Metodo di Gauss.<br>Punti di Gauss e relativi pesi.<br>Errore di integrazione.<br>Sottointegrazione.                                                                                                                         |
| 2                        | <b>B8. Elementi finiti di ordine superiore</b><br>Funzioni forma quadratiche.<br>Elemento triangolare a sei nodi.<br>Elementi di serendipity.<br>Elementi finiti a 9 nodi.                                                                                                                                           |
| 4                        | <b>B9. Elementi finiti tipo piastra</b><br>Teoria della piastra di Kirchhoff e piastra di Mindlin.<br>Elementi agli spostamenti: elemento triangolare di Kirchhoff.<br>Elementi misti.                                                                                                                               |
|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                          | <b>ESERCITAZIONI</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2                        | Studio di un programma di calcolo agli elementi finiti sviluppato tramite foglio di calcolo elettronico.                                                                                                                                                                                                             |
| 2                        | Analisi di una struttura intelaiata con un codice di calcolo sviluppato su foglio elettronico.                                                                                                                                                                                                                       |
| 2                        | Analisi di strutture intelaiate tramite un codice di calcolo commerciale.                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2                        | Analisi di strutture intelaiate e introduzione di vincoli interni tramite rilassamento dei nodi e tramite Vincolo Multigrado.                                                                                                                                                                                        |
| 2                        | Analisi strutturale di problemi piani attraverso un programma di calcolo agli elementi finiti.                                                                                                                                                                                                                       |
| 2                        | Analisi agli elementi finiti di un problema strutturale complesso.                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 12                       | Studio e analisi, da svolgere in piccoli gruppi di lavoro, del progetto strutturale di un'opera di ingegneria civile, attraverso un programma di calcolo commerciale.                                                                                                                                                |
|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>TESTI CONSIGLIATI</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• J- N. Reddy, An introduction to the finite element method, International student edition.</li> <li>• K. J. Bathe, Finite element Procedure, Prentice Hall, 1996</li> <li>• O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, The finite element method, Butterworth Heinemann, 2000</li> </ul> |