UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2023/2024
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2024/2025
CORSO DILAUREA MAGISTRALE	INGEGNERIA MECCANICA
INSEGNAMENTO	ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI
TIPO DI ATTIVITA'	C
AMBITO	20933-Attività formative affini o integrative
CODICE INSEGNAMENTO	01258
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-IND/14
DOCENTE RESPONSABILE	PITARRESI GIUSEPPE Professore Ordinario 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	ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI - Corso: INGEGNERIA AEROSPAZIALE ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI - Corso: AEROSPACE ENGINEERING
ANNO DI CORSO	2
PERIODO DELLE LEZIONI	1° semestre
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	**PITARRESI GIUSEPPE** Martedì 14:00 15:30 Ufficio del docente (stanza O119) ubicato Edificio 8 primo piano plesso dell'Ex Istituto di Costruzione di Macchine (in fondo al corridoio centrale). Giovedì 14:00 15:30 Ufficio del docente (stanza O119) ubicato Edificio 8 primo piano plesso dell'Ex Istituto di Costruzione di Macchine (in fondo al corridoio centrale).

DOCENTE: Prof. GIUSEPPE PITARRESI

PREREQUISITI	E' consigliabile che lo studente possegga conoscenze di base nei seguenti ambiti: - Matematica: Calcolo Tensoriale, Numeri Complessi, Trigonometria. - Fisica: nozioni di base su Circuiti Elettrici, nozioni su Trasferimento di Calore sia per conduzione che irraggiamento, nozioni base di Elettromagnetismo. - Meccanica del Continuo: Formulazione tensoriale delle Tensioni e Deformazioni, Equilibrio e Congruenza, Comportamento Isotropo ed Ortotropo, Comportamento elastico e Legge di Hooke.
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	CONOSCENZA E CAPACITA' DI COMPRENSIONE: Lo studente avrà acquisito le conoscenze teoriche e pratiche per l'utilizzo di strumentazione scientifica ai fini della misura di spostamenti e deformazioni su materiali strutturali. Inoltre lo studente sara' in grado di analizzare ed interpretazione i risultati di esperimenti riguardanti la misura dello stato di stress di materiali, componenti o strutture, al fine di: caratterizzare il comportamento meccanico di materiali e valutare lo stato di deformazione e tensione di strutture in esercizio. Per quanto concerne in particolare le parti di Estensimetria e Termografia ad Infrarossi, le conoscenze acquisite durante il corso comprenderanno una parte cospicua di conoscenze richieste agli operatori di secondo livello di personale addetto alle prove non-Distruttive NDT secondo la norma EN ISO 9712. CAPACITA' DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRENSIONE: Attraverso 18 ore di laboratorio gli studenti avranno l'opportunità di realizzare set-up sperimentali e utilizzarli per eseguire misure. Per quando riguarda l'Estensimetria, la Termografia IR, la Fotoelasticità e le tecniche di Correlazione di Immagini Digitali, alla fine del corso gli studenti saranno in grado di: a) Selezionare la tecnica specifica di analisi in base al tipo di materiale, componente e informazione da ricavare; b) Scegliere e regolare la strumentazione in funzione del tipo di misura; c) Registrare e classificare i risultati delle prove; d) Stendere un rapporto dei risultati che ne comprenda l'interpretazione e tenga presente i limiti di applicazione del metodo. Grazie alla conoscenza delle su citate tecniche, gli studenti saranno in grado di eseguire misure di deformazioni e spostamenti utili alla caratterizzazione meccanica di materiali solidi, anche innovativi, e di progettare misure sperimentali per la determinazione delle proprieta' e dell'integrità della struttura. Gli studenti avranno inoltre appreso la capacità di risolvere problemi di misura non convenzionali proponendo soluzioni basate su tecniche estensimetriche, ottiche e termografiche. AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Il corso si propone di sviluppare nello studente abilita' decisionali ed interpretative concernenti la scelta di tecniche di analisi sperimentale delle tensioni, la loro implementazione e l'analisi di dati finalizzata alla caratterizzazione e progettazione meccanica, ed alla verifica e sicurezza strutturale. Mediante esperienze di laboratorio gli studenti avranno un ruolo attivo nella raccolta di dati, nella loro analisi e nella formulazione di un giudizio critico di sintesi in merito alle esperienze svolte. ABILITA' COMUNICATIVE: Attraverso la stesura di relazioni sulle esperienze di laboratorio gli studenti svilupperanno capacita' relative alla presentazione dei risultati di misura, descrizione delle condizioni di prova, nonche' elaborazione dei risultati secondo codici, norme, o procedure teoriche specifiche. Gli studenti inoltre avranno acquisito l'abilita' di descrivere con terminologia appropriata e cognizione tecnica le caratteristiche dei set-up di misura in uso nella Meccanica Sperimentale. CAPACITA' D'APPRENDIMENTO: Il corso si propone di sviluppare capacita' di auto-apprendimento delle innovazioni teoriche e applicative nell'ambito della Meccanica Sperimentale, ed in particolare negli ambiti della caratterizzazione meccanica di materiali, e della verifica e monitoraggio strutturale di componenti.
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	E' previsto un solo esame orale. Una presenza costante alle attività di esercitazione in aula e' un prerequisito essenziale per l'accesso all'esame. In particolare e' obbligatorio accumulare una presenza non minore del 70% di ore dedicate alle attività di laboratorio. Infatti l'esperienza acquisita durante i laboratori non può essere ottenuta mediante studio teorico in modalità autodidattica.

	E' prevista la stesura di una Relazione scritta sulle esercitazioni del corso ed attività di Laboratorio. La relazione è preparata da un gruppo composto da minimo 4 e massimo 5 persone. I gruppi verranno formati ad inizio corso e rimarranno inalterati per tutta la durata del corso, salvo esigenze particolare che il docente valuterà di volta in volta. La relazione sarà oggetto di valutazione in sede di esame e contribuirà al voto finale. Gli studenti che si prenotano per l'esame devono inviare al docente la loro Relazione di Laboratorio entro al massimo tre giorni dalla data di esame. Gli studenti possono anche inviare una versione elettronica della relazione alla email del docente (in formato pdf). Un esame si svolge tipicamente in un lasso di tempo di 30-60 minuti, e sarà strutturato come di seguito: - una domande per ognuna delle seguenti tecniche: Estensimetria, Fotoelasticità, Sensori in fibra ottica a reticolo di Bragg, Digital Image Correlation, tecniche termografiche e Thermoelastic Stress Analysis. - revisione della Relazione di Laboratorio, sulle quali il docente potrà chiedere chiarimenti o commenti. Tutte le domande richiederanno una risposta orale. Inoltre alcune domande potranno richiedere un approfondimento scritto consistente in brevi dimostrazioni matematiche o rappresentazioni di equazioni o grafici e disegni schematici. I seguenti aspetti della performance dell'esame verranno in particolare valutati dal docente: a) Il livello di dettaglio nella risposta, e l'abilita' nel fare confronti e collegamenti tra le tecniche e con le esperienze svolte in laboratorio; b) La chiarezza espositiva e l'uso appropriato della terminologia tecnica; c) L'efficacia con la quale ogni risposta e' integrata e coadiuvata da rappresentazioni matematiche e grafiche in generale; d) la qualità della Relazione di Laboratorio. In particolare, relativamente al punto (d), si valuterà la chiarezza e completezza di esposizione, correttezza nell'analisi dei dati, l'efficacia della veste grafica della relazione in generale. I quattro aspetti prestazionali su indicati (a,b,c,d) verranno valutati con un voto come di seguito: eccellente (9 punti): ottima conoscenza degli argomenti (a), ottima proprietà di linguaggio (b), buona capacita' analitica (b,c,d), lo studente e' in grado di applicare in modo elegante le conoscenze per risolvere i problemi proposti (c,d), lo studente e' in grado di organizzare e gestire attività in team, descrivere e comunicare in modo sintetico ed efficace attività sperimentali ed i relativi risultati (d). buono (7 punti): buona padronanza degli argomenti (a), piena proprietà di linguaggio (b), lo studente e' in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti (c,d), lo studente e' in grado di organizzare, descrivere e comunicare in modo efficace attività sperimentali e resoconti di prove (d). sufficiente (6 punti): non ha piena padronanza degli argomenti principali dell'insegnamento ma ne possiede le conoscenze (a), soddisfacente proprietà linguaggio (b), limitata capacita' di applicare autonomamente le conoscenze acquisite per la soluzione dei problemi proposti (c,d), lo studente descrive i resoconti di prova in modo sufficientemente comprensibile (d). mediocre (4 punti): ha scarsa padronanza degli argomenti principali dell'insegnamento ed una minima conoscenza di base (a), difficoltà nell'utilizzare il linguaggio tecnico adeguato (b), scarsa o nulla capacita' di applicare autonomamente le conoscenze acquisite per la soluzione dei problemi proposti (c,d), lo studente descrive i resoconti di prova in modo confuso e non sufficientemente dettagliato (d). Insufficiente (0 punti): non possiede una conoscenza accettabile dei contenuti degli argomenti trattati nell'insegnamento (a,b,c), lo studente descrive i resoconti di prova in modo

	palesemente copiato da altre relazioni di colleghi, senza averne maturato contenuti e senza dimostrare di averne condiviso l'elaborazione (d), le relazioni di prova contengono macroscopici errori di impostazione e trattamento dei dati (d). Il voto finale risulterà dalla somma dei voti assegnati ai singoli aspetti prestazionali, ovvero a,b,c,d. Ad esempio: a=7, b=6, c=4, d=0 danno luogo ad un voto finale di 17. Il voto di 30&Lode e' assegnato quando il punteggio totale supera 30.
OBIETTIVI FORMATIVI	Il corso si prefigge lo scopo di far conoscere le principali tecniche sperimentali di misura delle tensioni, deformazioni e spostamenti in materiali, componenti e strutture. La valutazione sperimentale di tali quantità è fondamentale per la caratterizzazione meccanica di materiali tradizionali e innovati (obiettivo formativo indicato sia per LM-20 che per LM-33), e per valutare le performance strutturali e l'integrità strutturale di componenti e strutture. Gli studenti apprenderanno quindi i fondamenti teorici e gli schemi e principi di implementazione pratica di alcune delle più diffuse tecniche di misura in uso nella moderna Meccanica Sperimentale. Le conoscenze acquisite nel corso completano e si armonizzano in particolare con le conoscenze relative ai metodi analitici e numerici della Meccanica Strutturale, già acquisite dagli studenti in altri corsi caratterizzanti.
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Il corso prevede 36 ore di lezioni frontali e 18 di attività di gruppo in laboratorio, per un totale di 54 ore, erogate in circa 12 settimane, con una cadenza tipica di 5 ore per settimana. Le lezioni frontali consisteranno principalmente in presentazioni orali del docente impartite con l'ausilio contemporaneo di slides di power-point e lavagna. Le attività di Laboratorio saranno preferibilmente svolte nell'aula Laboratorio Didattico O007, equipaggiata per l'implementazione di set up sperimentali di Estensimetria (istallazione e misura), Termografia ad Infrarossi, Correlazione digitale di immagini (DIC) e Fotoelasticità. Alcune attività di laboratorio saranno tenuto presso il "Laboratorio Prova Materiali e Componenti" del dipartimento DIID (stanza O002). Ivi gli studenti potranno vedere e conoscere alcune delle attrezzature comunemente impiegate per prove meccaniche su materiali.
TESTI CONSIGLIATI	[1]A. Ajovalasit, D. Cerniglia, G. Petrucci, G. Pitarresi – Introduzione ai metodi di Meccanica Sperimentale dei Solidi. Ed. Aracne, Marzo 2018 (ISBN: 978-88-255-1152-9). [2]A. Ajovalasit, G. Pitarresi – Estensimetri a fibra ottica con reticolo di Bragg. Dispenza interna fornita dal docente (internal report provided by the lecturer). [3]G. Pitarresi – Appunti e slides del corso (slides and notes). Book [1] can also be found on-line, on specialized electronic book web shops. PDF electronic versions are also available from http://www.aracneeditrice.it/, www.amazon.it, www.libreriauniversitaria.it. The hard copy will take about 5-10 days time for delivery. The lecturer's slides and internal booklets [2,3] will be available from a web cloud repository. A link to such web cloud will be provided by the lecturer upon request, and by default to all students attending the class.

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
9	Estensimetria. Le caratteristiche degli estensimetri (2), i criteri di scelta degli estensimetri (1), il circuito di misura della resistenza (1), la misura delle sollecitazioni semplici (1), influenza dei cavi (1.5), la taratura del ponte (0.5), la misura e l'analisi delle deformazioni nei campi piani (1.5); analisi delle deformazioni nei materiali anisotropi (0.5). (in parentesi le ore dedicate ad ogni singolo argomento).
8	Metodi Termici di analisi strutturale. Termografia ad Infrarossi: concetti di base su conduzione di calore per irraggiamento (1); Problemi relativi alla misura di temperatura da termocamere ad infrarossi (1); Stato dell'arte dei sistemi commerciali di termografia ad infrarossi (0.5); Analisi delle Tensioni mediante l'Effetto Termoelastico: TSA (2); Trattamento di tipo Lock-In dei segnali termici (2); Esempi di applicazioni di TSA (1);

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
7	Metodi Ottici #1: fotoelasticita' e tecniche interferometriche. Impiego di metodi ottici per la misura di spstamenti/deformazioni: principi generali, luce coerente, interferometria (1 ore). L'effetto fotoelastico (1 ore); l'ottica del polariscopio (1 ore); Rilievo dei dati fotoelastici e taratura del materiale (1 ore); l'uso della luce bianca in fotoelasticita' (1 ore); tecniche digitali di fotoelasticita' automatica: fotoelasticita' RGB (0.5 ore); fotoelasticita' a variazione di fase (0.5 ore); I rivestimenti fotoelastici (1 ora).
9	Metodi Ottici #2: metodi a correlazione digitale di immagini. Principio del metodo DIC 2D (1 ora); Spostamenti e deformazioni nella Meccanica del Continuo: (0.5 ore); Deformazione del subset e Funzioni di Forma (0.5); Determinazione del campo delle deformazioni (0.5); Funzioni di Correlazione e metodi di calcolo (1.5); Il calcolo delle deformazioni (0.5); Implementazione sperimentale: Preparazione del provino e caratteristiche dello Speckle (0.5); Acquisizione delle immagini (1); Errori sistematici e random nei metodi DIC (1); Digital Image Correlation: il caso 3D (1); Calibrazione del sistema di stereo-visione (0.5); Determinazione della forma e degli spostamenti (0.5).
3	Metodi Ottici #3: Estensimetri a fibra ottica con reticolo di Bragg: Principio; Tipo di informazione sperimentale e relazione caratteristica; Campi tensionali e materiali esaminabili; la sensibilita' alla deformazione; la sensibilita' alla temperatura; Confronto tra FBG ed ER e applicazione degli FBG.

ORE	Laboratori
18	Estensimetria1: installazione e controllo di un ER a griglia singola su trave in acciaio (in Laboratorio, 3 ore). Estensimetria2: misurazione del segnale estensimetrico con diverse configurazioni (in Laboratorio, 1.5 ore). Estensimetria3: influenza dei cavi sulle misure estensimetriche (in laboratorio, 1.5 ora). Estensimetria4: misure con rosette estensimetriche. Misure su materiali compositi (in laboratorio, 1.5 ora). Estensimetria5: misure con celle di carico estensometri e data loggers (in laboratorio, 1.5 ora). Fotoelasticita1: uso del polariscopio su modelli fotoelastici (rilevazioni in luce monocromatica e luce bianca) (in laboratorio, 3 ore). DIC1: Implementazione di un setup di DIC-2D mediante ausilio del software N-Corr (in laboratorio, 3 ore). Termografia1: determinazione dell'emissivita' di una superfice di corpo grigio (in laboratorio, 1 ore). Termografia2: Implementazione di una esperienza di Thermoelastic Stress Analysis mediante acquisizione e post-processamento di dati termografici da provini sollecitati su una macchina prova materiali servoidraulica (in Laboratorio, 3 ore). Le esercitazioni in Laboratorio di estensimetria vedranno la classe divisa in gruppi. Ogni gruppo dovra' preparare una relazione finale sulle esperienze svolte in laboratorio (descrizione, analisi e presentazione dei risultati) che potrà essere oggetto di discussione durante la verifica orale di esame. Sia la partecipazione che la relazione finale costituiranno oggetto di valutazione utile a determinare il voto finale (vedi la sezione "Valutazione dell'Apprendimento" nella scheda di trasparenza).