



### Scheda delle Attività Didattiche a.a. 2022/2023

|  |   |
|--|---|
| <b>Denominazione insegnamento:</b>                     | Reverse engineering   |
| <b>SAD (settore artistico disciplinare):</b>           | ISDR/02   |
| <b>Nome del docente responsabile:</b>                  | Stefania Agresta  |
| <b>Numero di crediti formativi (CFA):</b>              | 8   |
| <b>Anno di corso in cui l'insegnamento è previsto:</b> | Diploma Accademico di Secondo Livello   |
| <b>Semestre di svolgimento delle lezioni:</b>          | Annuale   |
| <b>Contenuti del corso</b>                             | <p>Lo scopo del Reverse Engineering di un oggetto fisico è <b>l'acquisizione tridimensionale della sua reale forma</b> e la sua successiva <b>modellazione tridimensionale</b> a partire dai dati 3D acquisiti.</p> <p>Le modalità di acquisizione della forma geometrica caratterizzata spesso dall'informazione materica o colorimetrica, possono essere basate su tecnologie attive, quali scanner laser 3D o sistemi a proiezione di pattern.</p> <p>Le tematiche del Reverse Engineering vengono proposte in questo corso come elementi di un processo che prevede in prima battuta l'acquisizione delle informazioni geometriche di un oggetto tridimensionale e la sintesi di tali informazioni in un modello digitale metricamente fedele all'originale fisico, definendone esattamente errore meccanico di base e quello relativo all'elaborazione del dato.</p> <p>Nelle attuali applicazioni industriali tale processo si ritrova declinato in vari modi, che vanno ad esempio dalla creazione di un modello digitale a partire da un oggetto di cui sia ignoto il modello originario, alle simulazioni di sistemi meccanici tramite tecniche "Finite Elements Analysis" (FEA), alla verifica dimensionale dei prodotti ottenuti da processi industriali, all'acquisizione di modifiche manuali effettuate su mock-up generati come stampa 3D di modelli CAD.</p> <p>Questa varietà di applicazioni rendono il Reverse Engineering strumento trasversale</p> |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
|                             | <p>irrinunciabile nel bagaglio culturale di un designer di prodotto.</p> <p>Il corso si propone pertanto di fare una panoramica sui dispositivi di visione passivi e attivi e sulle modalità con cui tali sensori devono essere utilizzati per trasformare le superfici di un oggetto in un set di dati digitali manipolabili con strumenti informatici.</p> <p>Il corso passa poi all'analisi delle procedure per il post-processing dei dati grezzi prodotti da un sensore 3D passivo o attivo, che consentono di arrivare a un modello tridimensionale completo. Per trasmettere queste conoscenze nella maniera più efficace il corso prevede una consistente attività esercitativa e di laboratorio nell'ambito della quale gli studenti sviluppano semplici processi di elaborazione digitale delle immagini per valutare vantaggi e potenziali criticità, fino a realizzare modelli 3D di oggetti reali grazie all'utilizzo di laser scanner 3D di ultima generazione e attraverso immagini fotografiche bidimensionali.</p> <p>Il laser scanner 3D usato sarà prevalentemente quello in dotazione dei <b>laboratori dell'ISIA di Pescara</b>, con una esperienza conoscitiva dei principali strumenti di acquisizione.</p> <p>A tale proposito verrà organizzata una lezione con i principali fornitori di strumenti di reverse engineering industriale per valutare pro e contro di tecnologie e strumenti diversi di acquisizione. Le immagini fotografiche 2D vengono acquisite dagli studenti con fotocamere digitali opportunamente calibrate, messe a disposizione dal laboratorio ISIA Pescara.</p> <p>Il funzionamento di sistemi 3D a scansione laser viene sperimentato da ogni studente attraverso le fasi di acquisizione, integrazione dei dati e modellazione poligonale di un oggetto di test. In questa fase vengono illustrati nel dettaglio alcuni pacchetti software di impiego comune nel contesto industriale.</p> <p>Le tecnologie trattate nella parte teorica sono in tal modo messe in pratica su <b>casi di studio reali</b>, così che gli studenti possano interagire con tutta la procedura di Visione 3D passiva, Visione 3D attiva, elaborazione 3D, creazione del modello e presentazione.</p> |
| <b>Testi di riferimento</b> | <i>Materiali</i>  |

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
|                                   | <p>Sintesi degli argomenti trattati, copia delle slide e altro materiale illustrato/impiegato durante le lezioni nonché documenti utili all'organizzazione complessiva delle attività didattiche, saranno disponibili nella sezione "Materiali del corso" nella Classroom di riferimento o messi a disposizione degli studenti direttamente in aula.</p> <p><i>Alcuni testi di riferimento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gabriele Guidi and Fabio Remondino, 3D Modelling from Real Data, Editore: Intech, Anno edizione: 2012</li> <li>- In Modeling and Simulation in Engineering, Catalin Alexandru (Ed.)</li> <li>- Szeliski, Richard, Computer Vision: Algorithms and Applications, Editore: Springer, Anno edizione: 2011</li> <li>- Luhmann, Thomas; Robson, Stuart; Kyle, Stephen; Boehm, Jan, Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging, Editore: De Gruyter, Anno edizione: 2014</li> <li>- Gabriele Guidi, Michele Russo, Jean-Angelo Beraldin, Acquisizione 3D e modellazione poligonale, Editore: McGraw-Hill, Anno edizione: 2010</li> </ul> |
| <p><b>Obiettivi formativi</b></p> | <p>Il reverse engineering (ingegneria inversa) è un processo attraverso cui si ottengono informazioni sui singoli componenti di un prodotto o di un dispositivo per comprenderne appieno il funzionamento. Tramite una scansione 3D e la conseguente elaborazione da parte di un software CAD, il reverse engineering permette di digitalizzare un oggetto fisico.</p> <p>Per formare nuovi professionisti in questo settore in continua evoluzione gli obiettivi formativi principali sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-conoscenze e competenze nell'elaborazione di entità grafiche tridimensionali</li> <li>-conoscenze e abilità nell'elaborare gli oggetti solidi attraverso la ricostruzione in nuvola di punti</li> <li>-abilità nell'eseguire la produzione additiva (stampa 3D) già acquisita nei corsi propedeutici</li> </ul>  |

|                                |  |
|--------------------------------|--|
|                                | <p>-competenza nell'individuazione della procedura di digitalizzazione dell'oggetto.</p> <p>Lo studente saprà utilizzare tecnologie e metodologie digitali di reverse engineering, modellazione e stampa 3D nell'ambito del product design.</p>  |
| <p><b>Prerequisiti</b></p>     | <p>Attitudine alla progettazione e alla modellazione tridimensionale; buona conoscenza degli strumenti informatici, fotografici, dei software di disegno e modellazione 3D e di 3D printing.</p> <p><i>In particolare</i></p> <p>Buona conoscenza delle principali tecniche di rappresentazione geometrica delle figure solide elementari e complesse sia in 2D che 3D;</p> <p>Capacità nell'uso professionale delle apparecchiature fotografiche e degli strumenti informatici di base;</p> <p>Buona conoscenza della post produzione di immagini fotografiche ad alta risoluzione;</p> <p>buona conoscenza dei principali software di modellazione 3D.</p> |
| <p><b>Metodi didattici</b></p> | <p>Il corso è organizzato in cicli di comunicazioni aventi per soggetto gli argomenti visti sopra. Le lezioni sono suddivise secondo tipologie differenti, complementari fra loro:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• lezioni frontali in aula convenzionale per illustrare le nozioni teoriche di base;</li> <li>• esercitazioni applicative con illustrazione di specifici software per:</li> <li>• l'elaborazione di immagini</li> <li>• la generazione di dati 3D da immagini 2D</li> <li>• l'acquisizione di dati 3D da sensori attivi</li> </ul>   |

- l'elaborazione di modelli 3D a partire dai dati acquisiti
- workshop in laboratorio per consentire agli allievi di toccare con mano le attrezzature ed i processi di acquisizione tridimensionale con le tecniche di *Reverse Engineering*.
- esercitazioni applicative con illustrazione di specifici software per l'elaborazione di modelli da dati acquisiti.

Tali progetti, sviluppati dagli allievi divisi in gruppi, consentiranno di verificare le capacità professionali acquisite durante il corso da ogni studente.

Le lezioni si terranno con spiegazione alla lavagna e con l'uso di strumentazione in dotazione presso i laboratori dell'ISIA di Pescara (laser scanner 3D, apparecchiature fotografiche, stampanti 3D).

L'apprendimento è guidato dal docente, in un percorso coordinato di lezioni teorico/pratiche ed esercitazioni laboratoriali.

L'attività didattica è suddivisa in:

- nozioni teoriche di base;
- esercitazioni individuali e di gruppo da svolgersi in aula;
- revisioni individuali.

*Metodo operativo:* conoscenza attraverso l'azione, ovvero l'applicazione e la rielaborazione personale e concreta con diverse modalità di quanto appreso a lezione.

*Metodo investigativo* (ipotetico-deduttivo): l'attività laboratoriale è finalizzata al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

1. Individuare e definire le caratteristiche dell'oggetto e l'obiettivo da raggiungere;
2. Saper analizzare e selezionare delle ipotesi;
3. Saper definire il campo della ricerca;
4. Saper selezionare gli elementi caratterizzanti;
5. Saper registrare ed elaborare i dati raccolti;
6. Confronto e verifica delle ipotesi.

*Metodo partecipativo:* all'interno del corso il

|   |   |
|---|---|
|   | <p>lavoro degli studenti è condotto in sinergia con il docente, arricchito da contributi esterni di volta in volta introdotti durante il corso. Si predisporrà un partenariato con aziende di riferimento per l'analisi e lo studio di prototipi da ottenere con la tecnica del reverse engineering.</p>  |
| <p><b>Modalità di verifica dell'apprendimento</b></p> | <p><i>Criteria, regole e procedure per l'esame</i></p> <p>Il Corso richiede una assidua frequenza e il giudizio finale sarà espresso con un unico voto in trentesimi. Le attività svolte, singolarmente o di gruppo, saranno monitorate attraverso valutazioni intermedie che concorreranno al giudizio finale, basato sulla presentazione e discussione degli elaborati finali.</p> <p><i>Valutazione dei lavori</i></p> <p>La valutazione delle consegne intermedie sarà espressa in lettere A, B, C, D.</p> <p>In cui A rappresenta un'oscillazione di voto tra il 28 e il 30, B tra il 23 e il 27, C tra il 18 e il 22. Mentre D rappresenta i voti insufficienti (prima del 18).</p> <p>La valutazione finale sarà espressa in trentesimi e riguarderà sia le esercitazioni intermedie che l'esercitazione finale.</p> <p><i>Modalità d'esame</i></p> <p>L'esame verrà svolto individualmente dallo studente tramite una prova pratica (acquisizione ed elaborazione dati) e la presentazione dei propri elaborati. Il corso si concluderà con una presentazione pubblica dei progetti svolti e dalla relativa analisi critica che, in aggiunta alla media dei voti delle prove in itinere e pratica, consentirà di giungere ad una appropriata consuntivazione finale. Il voto verrà attribuito tenendo in considerazione l'esito della prova pratica, le esercitazioni svolte durante l'anno, gli elaborati finali sul "tema d'esame"; per il superamento del corso tutte le valutazioni dovranno essere sufficienti.</p> <p><i>I criteri di valutazione si incentreranno su alcuni punti nodali</i></p> |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
|                                | <p>1. Quantità di lavoro svolto in relazione ai compiti assegnati.</p> <p>2. Qualità e correttezza dei modelli 3D (rigore ed esattezza nell'ottenimento dei modelli in relazione alle metodologie e alle strumentazioni impiegate).</p>   |
| <p><b>Programma esteso</b></p> | <p><i>Introduzione teorica</i><br/> Generalità sui metodi di rilievo 3D con e senza contatto. Interazione luce-materia. Tassonomia dei sistemi senza contatto basati su diverse forme di energia radiante. Tecniche di 3D sensing passive e attive. Sistemi di coordinate polare, cartesiano, sferico e cilindrico. Coordinate omogenee. Rappresentazione di entità 3D con vettori e matrici.</p> <p><i>Sistemi 3D passivi</i><br/> Fotocamere e videocamere: ottica e sistema di sensing. Modellazione matematica della camera e calibrazione.<br/> Radiometria.<br/> Illuminazione e ripresa della scena. Formati di immagine. Filtraggio. Estrazione di contorni. Segmentazione. Resezione: bundle-adjustment. Intersezione. Misura multi-stazione. Stereo-matching denso.</p> <p><i>Sistemi 3D attivi</i><br/> Misura 3D con triangolazione.<br/> Scanner laser: misura puntuale (singolo spot); misura su sequenza di punti (lama di luce laser); misura su aree (lama di luce laser in movimento). Misura a campo intero; sistemi a triangolazione basati su proiezione di frange. Meccanismi di scansione e di proiezione nei sistemi a triangolazione. Sintesi comparativa delle caratteristiche dei diversi tipi di sensore a triangolazione. Misura 3D con valutazione della distanza; stima diretta (PW) e indiretta (CW e FM-CW) del tempo di volo. Meccanismi di scansione nei sistemi TOF</p> <p><i>Integrazione dei metodi di rilievo:</i> Sistema di riferimento nei sensori a triangolazione e a tempo di volo. Matrice di rototraslazione. Integrazione finalizzata a: verifica del modello; miglioramento dell'accuratezza; aumento delle informazioni.<br/> Sensori misti.</p> <p><i>Elementi di metrologia 3D:</i> Vocabolario Internazionale di Metrologia (VIM); definizioni</p> |

di *trueness, uncertainty e resolution*.

Distribuzioni uniforme e normale; istogramma di errore di un set di dati sperimentali. Standard di riferimento per il 3D imaging. Calibrazione di un sensore attivo. Caratterizzazione degli errori di un range device. Approccio analitico: legami tra parametri optogeometrici e deviazione standard d'errore. Approccio sperimentale: stima di *trueness uncertainty e resolution* a partire da acquisizione di target standard. Effetti d'ombra nei sistemi a triangolazione e a tempo di volo. Artefatti dovuti a transizioni cromatiche. Effetto ai bordi. Artefatti legati alla traslucidità del materiale.

*Costruzione di modelli poligonali da dati acquisiti*: Concetti topologici: mesh, faccia, vertice, normale alla faccia, normale al vertice. Meshing di nubi strutturate e non strutturate. Algoritmo di Delaunay. Procedura di creazione di un modello geometrico. Progetto di presa. Acquisizione. Meshing. Allineamento; caratteristiche algoritmo *Iterative Closest Point* (ICP). Merge. Mesh editing. Tecniche di editing: correzione topologica; smoothing; chiusura delle lacune; semplificazione; estrazione di profili; export.

Esempi applicativi

Esperienza di acquisizione con aziende di prototipazione: verrà promossa una convenzione di ricerca con aziende del settore per lo studio di casi applicativi concreti.