



<b>Denominazione</b>	<b>Laboratorio di Cyber Physical Systems</b> <i>(curriculum Tecnologie digitali per l'industria 5.0)</i>
<b>Moduli componenti</b>	-
<b>Settore scientifico-disciplinare</b>	IINF-01/A - Ingegneria Elettronica (ex: ING-INF/01)
<b>Anno di corso e semestre di erogazione</b>	2° anno, 2° semestre
<b>Lingua di insegnamento</b>	Italiano
<b>Carico didattico in crediti formativi universitari</b>	6 CFU
<b>Numero di ore di attività didattica assistita complessive e ripartite tra DE e DI</b>	DE: 48 ore (pari a 6 CFU di Didattica Erogativa)
<b>Docenti</b>	Responsabile dell'insegnamento: Prof. Alessandro Massaro
<b>Risultati di apprendimento specifici</b>	<p>Obiettivo del corso è acquisire conoscenze di modelli cyber-fisici comprensive di aspetti legati all'integrazione in sistemi digitali. In aggiunta, lo studente acquisirà la conoscenza di metodologie di modellazione e di simulazione di circuiti. Si raggiungeranno i seguenti risultati di apprendimento, relativi all'indirizzo, espressi in termini di competenza:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• modellizzare sistemi cyber-fisici avanzati;</li><li>• progettare e risolvere circuiti integrabili in sistemi cyber-fisici;</li><li>• applicare criteri di integrazione dei modelli cyber-fisici in diversi scenari.</li></ul> <p>In termini di autonomia di giudizio, lo studente maturerà la capacità di analizzare in maniera critica le differenti problematiche connesse alla modellazione e simulazione dei sistemi cyber-fisici integrabili nel settore industriale, civile e biomedicale. In particolare, lo studente sarà autonomo nella definizione degli elaborati di progettazione dei modelli e nella interpretazione dei risultati.</p> <p>Al termine del corso lo studente:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• conoscerà le principali metodologie per la modellazione dei sistemi cyber-fisici;</li><li>• applicare gli algoritmi di intelligenza artificiale ai modelli spiegati a lezione;</li><li>• pianificare integrazioni di sistema;</li><li>• definire delle mappe di rischio in funzione degli output dei modelli analizzati;</li><li>• saprà discutere e spiegare sia a tecnici che a non tecnici le scelte tecniche derivanti dall'analisi dei modelli e dei risultati.</li></ul> <p><i>Conoscenze e comprensione:</i> Il corso permette di acquisire conoscenze relative ai concetti di modellazione e simulazione, all'integrazione dei modelli cyber-fisici, all'applicazione dell'intelligenza artificiale, e alla interpretazione dei risultati di classificazione e di predizione.</p> <p><i>Capacità di applicare conoscenze e comprensione:</i> Le attività previste nel corso consentono di applicare metodi e strumenti di carattere analitico/circuitale al contesto industriale, civile e medicale. Attraverso lo studio dei modelli cyber-fisici, gli studenti potranno confrontarsi concretamente con le problematiche reali</p>



	<p>tipiche dell'integrazione di sistema, sviluppando così ulteriormente le proprie capacità di analisi e comprensione delle tematiche trattate.</p> <p><i>Autonomia di giudizio e pensiero critico:</i> Il coinvolgimento degli studenti in eventuali attività di project work, da svolgere anche in gruppo e comunque da presentare e discutere con i propri colleghi, ha l'obiettivo di accrescere la capacità di analisi, giudizio e valutazione critica da parte dei singoli studenti.</p> <p><i>Abilità comunicative:</i> Il corso promuove competenze ed abilità comunicative attraverso processi di partecipazione attiva alle lezioni frontali, in cui sono previste apposite sessioni dedicate a domande e riflessione sui temi affrontati, e attraverso la presentazione da parte di tutti i componenti del team delle attività di project work realizzate.</p> <p><i>Capacità di apprendimento:</i> Il corso consente di sviluppare conoscenza e capacità applicativa in contesti tipici delle realtà industriali, civili e medicali moderne, caratterizzate da una crescente trasformazione digitale e un sempre più elevato livello di elettronica.</p>
<b>Programma</b>	<p>Il corso si articola in 4 parti:</p> <ol style="list-style-type: none"><li><b>1. Sistema Cyber-fisico.</b> L'insegnamento fornisce nozioni circa i modelli cyber-fisici e le relative applicazioni. Gli argomenti da trattare sono:<ol style="list-style-type: none"><li>1.1 Interazione del modello digitale con il sistema fisico;</li><li>1.2 Modelli cyber-fisici interconnessi alla rete e a oggetti di calcolo distribuiti;</li><li>1.3 Sicurezza dei sistemi cyber-fisici;</li><li>1.4 Electronic digital twins e cyber physical systems;</li><li>1.5 Intelligenza artificiale nei sistemi cyber-fisici.</li></ol></li><li><b>2. Sistemi cyber-fisici e robot.</b> L'insegnamento consentirà di acquisire conoscenze sulle applicazioni dei sistemi cyber-fisici nella robotica. Gli argomenti da trattare sono:<ol style="list-style-type: none"><li>2.1 Sistemi cyber-fisici in scenari di Industria 5.0;</li><li>2.2 Il rumore e le interferenze nei sistemi cyber-fisici;</li><li>2.3 Integrazione dei sensori nella robotica.</li></ol></li><li><b>3. Modelli cyber-fisici.</b> L'insegnamento consentirà di acquisire conoscenze sul modelling e sulla simulazione dei modelli cyber-fisici. Gli argomenti da trattare sono:<ol style="list-style-type: none"><li>3.1 Modelli circuitali industriali;</li><li>3.2 Modelli in ambito hardware security;</li><li>3.3 Modelli elettronici di energy harvesting;</li><li>3.4 Modelli elettronici biomedicali;</li><li>3.5 Modelli di sistema della supply chain con tecnologie di Industria 4.0 e 5.0.</li></ol></li><li><b>4. Applicazione dell'Intelligenza Artificiale nei modelli cyber-fisici.</b> La quarta parte riguarderà le modalità di applicazione dell'intelligenza artificiale nei modelli cyber-fisici. Gli argomenti da trattare sono:<ol style="list-style-type: none"><li>4.1 Intelligenza artificiale: classificazione, predizione;</li><li>4.2 Intelligenza artificiale e mappe di rischio;</li><li>4.3 Esempi di applicazione dell'intelligenza artificiale come strumento di correzione/interpretazione degli output dei modelli circuitali.</li></ol></li></ol>
<b>Tipologie di attività didattiche previste e relative modalità di svolgimento</b>	<p>L'insegnamento è strutturato in lezioni di didattica frontale. La modalità didattica si basa sull'abbinamento delle argomentazioni di tipo teorico con esercitazioni al fine di ottenere una piena comprensione delle tematiche oggetto del corso. Il corso prevede un <i>assignment</i> di gruppo (<i>project work</i> per un max di 5 persone) che consiste, come attività di laboratorio svolte in aula, nella progettazione circuitale e/o nello sviluppo di un sistema elettronico (modello cyber-fisico). L'elaborato potrà essere parte integrante della</p>



	valutazione finale dello studente. La traccia del <i>project work</i> sarà assegnata durante il corso.
<b>Metodi e criteri di valutazione dell'apprendimento</b>	<p>Le modalità d'esame sono differenti a seconda che gli studenti siano frequentanti (partecipazione ad almeno il 70% delle lezioni) o non frequentanti.</p> <p>Studenti frequentanti</p> <p>Gli studenti frequentanti hanno l'opportunità di sostenere alternativamente:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● un esame di prova generale orale*, ovvero</li><li>● una prova orale con discussione del project work svolto durante il corso (relazione tecnica finale del lavoro di gruppo di max 5 persone, con predisposizione di una presentazione in powerpoint).</li></ul> <p>Studenti non frequentanti</p> <p>Gli studenti non frequentanti sostengono l'esame generale in di forma prova generale orale*.</p> <p>*L'esame svolto come prova generale orale ha durata compresa tra i 30 e i 40 minuti. Tale prova è finalizzata a verificare la piena comprensione degli argomenti trattati durante il corso e a valutare l'autonomia di giudizio, tramite 1-2 domande di carattere teorico e metodologico ed 1-2 domande di esercizi sui circuiti da svolgere seduta stante.</p>
<b>Criteri di misurazione dell'apprendimento e di attribuzione del voto finale</b>	<p>La valutazione dell'apprendimento prevede l'attribuzione di un voto finale espresso in trentesimi.</p> <p><i>Studenti frequentanti e non frequentanti: Esame intero</i></p> <p>Per la <u>prova generale orale</u> il voto è espresso in trentesimi. Sul voto finale le domande a carattere teorico pesano orientativamente per il 50%, gli esercizi pesano per il 50%.</p> <p>Ai fini della valutazione si tiene complessivamente conto di comprensione degli argomenti, applicazione di strumenti e metodologie, chiarezza e proprietà del linguaggio, autonomia di giudizio.</p> <p>Nel caso degli studenti frequentanti, i lavori di gruppo saranno oggetto di valutazione incrementale (da 0 a 3 punti).</p>
<b>Propedeuticità</b>	<p>Per la corretta comprensione degli argomenti del corso sono altresì necessarie conoscenze di base di:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Elettronica e Meccatronica Industriale nella Gestione della Produzione</li></ul>
<b>Materiale didattico utilizzato e materiale didattico consigliato</b>	<p><u>Materiale didattico di riferimento:</u></p> <p>Dispense e slide del docente.</p> <p><u>Testo di supporto all'apprendimento:</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- L'arte dell'Elettronica: analisi e progettazione di circuiti / Paul Horowitz, Winfield Hill. - Bologna: Zanichelli, 2018;</li><li>- A. Massaro, "Electronic in Advanced Research Industry: From Industry 4.0 to Industry 5.0 Advances" Wiley/IEEE, ISBN: 9781119716877. DOI: 10.1002/9781119716907, 2022.</li></ul>



UNIVERSITÀ

**LUM**

GIUSEPPE  
DEGENNARO

a.a. 2025-2026