



# UNICUSANO

Università degli Studi Niccolò Cusano - Telematica Roma

<b>Insegnamento</b>	Microelettronica
<b>Livello e corso di studio</b>	Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica
<b>Settore scientifico disciplinare (SSD)</b>	ING-INF/01
<b>Anno di corso</b>	1
<b>Anno Accademico</b>	2023-2024
<b>Numero totale di crediti</b>	9
<b>Propedeuticità</b>	
<b>Docente</b>	<p>Andrea Orsini            Facoltà: Ingegneria            Nickname: orsini.andrea            Email: andrea.orsini@unicusano.it            Orario di ricevimento: Consultare il calendario alla pagina seguente del nostro sito verificando gli orari di Videoconferenza <a href="http://www.unicusano.it/calendario-lezioni-in-presenza/calendario-area-ingegneristica">http://www.unicusano.it/calendario-lezioni-in-presenza/calendario-area-ingegneristica</a></p>
<b>Presentazione</b>	<p>Il corso di Microelettronica ha lo scopo di far acquisire allo studente le basi per la progettazione microelettronica di circuiti digitali, partendo dalla singola unità elementare fino alla progettazione di architetture digitali con funzionalità di complessità medio-bassa. Il corso propone i concetti basilari delle varie fasi di progetto e sviluppo di un circuito integrato di uso comune nella progettazione elettronica digitale, con particolare riferimento a problemi dinamici e allo studio dei transistori. Le E-tivity associate al corso sviluppano le competenze necessarie a formulare i problemi della progettazione attraverso l'uso degli strumenti CAD di ausilio al progetto stesso.</p>
<b>Obiettivi formativi</b>	<p>Il corso di Microelettronica ha i seguenti obiettivi formativi:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ripasso ed approfondimento del comportamento di BJT e MOSFET</li> <li>2. Invertitore CMOS</li> <li>3. Logica Statica e sua Ottimizzazione</li> <li>4. Altri tipi di Logica</li> <li>5. Processi di Microfabbricazione, Interconnessioni e Packaging</li> <li>6. Latch e registri statici e dinamici, memorie</li> <li>7. Circuiteria di elaborazione a 32/64 bit</li> <li>8. Strumenti CAD di sintesi, piazzamento e interconnessione</li> <li>9. Software di Simulazione del comportamento dinamico</li> </ol>
<b>Prerequisiti</b>	<p>Si richiede la <b>conoscenza</b> dei concetti fondamentali dell'Elettronica Digitale di base come la conoscenza del comportamento elettrico in regime transitorio di reti RC, delle porte logiche elementari, dei parametri elettrici fondamentali, dell'algebra di Boole. Al riguardo, si consiglia di rivedere tali nozioni, propedeutiche per l'apprendimento e l'approfondimento della progettazione di circuiti integrati digitali.</p>
<b>Risultati di apprendimento attesi</b>	<p><b>Conoscenza e capacità di comprensione</b>            Lo studente al termine del Corso avrà dimostrato di conoscere il comportamento dell'invertitore CMOS a seconda dei parametri geometrici di progettazione e la capacità di derivare un modello semplificato del dispositivo in regime di commutazione a partire da simulazioni o misure.            Inoltre, lo studente acquisirà la conoscenza del funzionamento delle principali strutture logiche digitali: CMOS complementari, pseudo nMOS, a transmission gate e dinamiche. Lo studente acquisirà infine metodi per realizzare e simulare il comportamento di blocchi di circuiti digitali di bassa complessità.</p> <p><b>Applicazione delle conoscenze</b>            Lo studente sarà in grado di utilizzare la conoscenza dell'elettronica dello stato solido (in particolare del Silicio) per l'analisi dei circuiti integrati digitali e per la scelta di massima della disposizione dei vari blocchi funzionali all'interno del chip microelettronico. Sarà inoltre in grado di implementare semplici codici di calcolo per la soluzione di problemi di statica e dinamica della logica dei segnali digitali. Inoltre, tramite le E-tivity gli studenti acquisiranno la capacità di realizzare porte digitali all'interno del software Magic-VLSI e simulare circuiti a livello schematico in base alle caratteristiche degli stessi all'interno di HSPICE.</p>

	<p><b>Capacità di trarre conclusioni</b> Al termine dell'insegnamento, lo studente avrà la capacità di dimensionare il layout dei singoli transistor all'interno del chip a seconda delle specifiche di progetto e di realizzare schemi di interconnessioni elettriche robuste al rumore e con tempi di ritardo ottimizzati alla progettazione del chip pensato come sistema globale. Lo studente, inoltre, avrà sviluppato la capacità critica di interpretare i layout di progetto a fini della fabbricazione microelettronica su wafer di silicio.</p> <p><b>Abilità comunicative</b> Al termine dell'insegnamento, lo studente avrà sviluppato un linguaggio scientifico corretto e comprensibile che gli consentirà di esprimere in modo chiaro e privo di ambiguità le conoscenze tecniche acquisite nell'ambito della teoria dei circuiti integrati digitali.</p> <p><b>Capacità di apprendere</b> Al termine dell'insegnamento, lo studente avrà sviluppato la capacità di applicare le conoscenze acquisite alla progettazione di circuiti digitali che abbiano come oggetto l'analisi, trasmissione e ricezione di dati su microchip.</p>
<p><b>Organizzazione dell'insegnamento</b></p>	<p>Il corso è sviluppato attraverso le <b>lezioni preregistrate audio-video</b> che compongono, insieme a slide e dispense, i materiali di studio disponibili in piattaforma.</p> <p>Sono poi proposti dei <b>test di autovalutazione</b>, di tipo asincrono, che corredano le lezioni preregistrate e consentono agli studenti di accertare sia la comprensione, sia il grado di conoscenza acquisita dei contenuti di ognuna delle lezioni.</p> <p>La <b>didattica interattiva</b> è svolta nel forum della "classe virtuale" e comprende <b>2 E-tivity</b> che applicano le conoscenze acquisite nelle lezioni di teoria alla progettazione di layout tipici di chip digitali ed alla simulazione dei loro tempi di risposta e robustezza al rumore.</p> <p>In particolare, il Corso di Microelettronica prevede 9 Crediti formativi. Il carico totale di studio per questo modulo di insegnamento è di circa 225 ore così suddivise in: <b>circa 182</b> ore per la visualizzazione e lo studio del materiale videoregistrato (24 Ore videoregistrate di Teoria/Esercitazioni e 2 ore di esercitazioni sui simulatori elettronici e la progettazione del layout circuitale). <b>Circa 36 ore di Didattica Interattiva</b> per l'elaborazione delle E-tivity <b>Circa 6 ore di Didattica Interattiva</b> per l'esecuzione dei test di autovalutazione.</p> <p>Si consiglia di distribuire lo studio della materia uniformemente in un periodo di 10 settimane dedicando tra le 10 alle 20 ore di studio a settimana</p>
<p><b>Contenuti del corso</b></p>	<p>Descrivere i contenuti del corso per macro-argomenti detti Moduli (circa uno e mezzo CFU del corso ciascuno)</p> <p><b>Modulo 0 – Richiami su diodi e transistors</b> (2 lezioni di teoria videoregistrate per un impegno di 14 ore - settimana 1) Alla fine del modulo lo studente avrà richiamato i concetti base del diodo e del transistor Mosfet: Svuotamento, Comportamento Statico e Dinamico, Correnti di Sottosoglia</p> <p><b>Modulo 1 – Microfabbricazione</b> (4 lezioni di teoria videoregistrate per un impegno di 28 ore settimana 2) Alla fine del modulo lo studente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conoscerà le Tecnologie di Fabbricazione</li> <li>• Sarà in grado di eseguire un processo CMOS completo</li> <li>• Avrà idea delle principali tecniche di Packaging</li> <li>• Saprà modellizzare le Interconnessioni su Chip (Modello Concentrato e Distribuito)</li> <li>• Conoscerà le problematiche dell'alta frequenza e il Modello a linea di trasmissione</li> </ul> <p><b>Modulo 2 – Invertitore CMOS</b> (4 lezioni di teoria videoregistrate per un impegno di 28 ore - settimana 3) Alla fine del modulo lo studente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conoscerà le Caratteristiche Fondamentali di un invertitore CMOS</li> <li>• Saprà costruirne la Curva di Trasferimento ed analizzarne i Margini di Rumore.</li> <li>• Conoscerà il suo Comportamento Dinamico tramite la caratterizzazione delle Capacità di ingresso e uscita,</li> <li>• Saprà ottimizzarne il progetto ai fini del Tempo di Propagazione del Segnale.</li> <li>• Saprà calcolare il Consumo di Potenza dinamico e statico</li> <li>• Conoscerà le Figure di Merito dell'Invertitore.</li> </ul> <p><b>Modulo 3 – Porte Logiche Combinatorie</b> (4 lezioni di teoria videoregistrate per un impegno di 28 ore settimana 4) Alla fine del modulo lo studente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Saprà costruire porte logiche statiche complementari</li> <li>• Conoscerà la logica a rapporto e pass-transistor</li> <li>• Saprà costruire porte logiche dinamiche</li> <li>• Saprà analizzare velocità e consumo di potenza, oltre che robustezza ed integrità del segnale</li> </ul>

- Conoscerà il problema del Cross-Talk ed i limiti prestazionali dei circuiti CMOS
- Riceverà le nozioni essenziali dei circuiti a logica ridotta
- Conoscerà le Metodologie Progettuali per segnali di corrente e le reti a singolo chip

#### **E-tivity 1 – Layout di circuiti logici (2 ora di videolezione + 18 ore di carico di studio - settimana 5)**

In questo modulo lo studente è impegnato nella risoluzione di un problema di complessità non banale. I Casi vengono proposti allo studente sotto forma di E-tivity (Electronic-Activity) accompagnate da una scheda descrittiva e pubblicate nella Classe Virtuale relativa al Corso e presente in piattaforma. Ogni E-tivity consiste nella produzione di un report relativo al case-study proposto e da opportune attività da svolgersi nel forum stesso di classe virtuale. La scheda descrittiva riporta sia le attività da svolgere da parte dello studente, sia le modalità di valutazione da parte del docente ai fini del computo del voto finale d'esame. Le E-tivity hanno una finalità di apprendimento oltre che di valutazione. Ciò significa che i Risultati di Apprendimento dichiarati nel modulo non sono raggiunti mediante la fruizione di lezioni, ma esclusivamente mediante lo studio autonomo e la risoluzione dei case-study proposti. Le attività delle E-tivity richiedono sempre l'utilizzo del forum di classe virtuale e consistono in discussioni di argomenti teorici e di esercizi.

N.B. Le E-tivity non sono da considerarsi Esoneri

#### **Risultati di Apprendimento**

Alla fine del modulo lo studente sarà in grado di:

- conoscere la terminologia tecnica dei software nell'ambito della progettazione di un semplice layout integrato;
- valutare la metodologia più corretta per la connessione dei transistor;
- creare il proprio circuito integrato tramite "Electric VLSI";

#### **Modulo 4 – Porte Logiche Sequenziali**

**(4 lezione di teoria videoregistrata per un impegno di 28 ore settimana 6)**

Alla fine del modulo lo studente:

- Riceverà le nozioni essenziali di Latch e Registri Statici
- Conoscerà i Registri dinamici e le tecnologie di progettazione anti-clock skew
- Ottimizzerà i circuiti Sequenziali tramite la progettazione di Pipeline
- Conoscerà funzionamento del Trigger di Schmitt
- Avrà dimestichezza con la progettazione di Generatori di impulsi ed Oscillatori digitali
- Conoscerà i Registri impulsati e a Sense-amplifier
- Saprà classificare i vari sistemi di temporizzazione
- Conoscerà come evitare skew e jitter del clock
- Saprà come autotemporizzare un circuito
- Avrà una idea delle tecnologie avanzate sulla distribuzione del Clock

#### **E-tivity 2 – Simulazione di circuiti logici (1 ora di videolezione + 18 ore di carico di studio - settimana 7)**

In questo modulo lo studente è impegnato nella risoluzione di un problema di complessità non banale. I Casi vengono proposti allo studente sotto forma di E-tivity (Electronic-Activity) accompagnate da una scheda descrittiva e pubblicate nella Classe Virtuale relativa al Corso e presente in piattaforma. Ogni E-tivity consiste nella produzione di un report relativo al case-study proposto e da opportune attività da svolgersi nel forum stesso di classe virtuale. La scheda descrittiva riporta sia le attività da svolgere da parte dello studente, sia le modalità di valutazione da parte del docente ai fini del computo del voto finale d'esame. Le E-tivity hanno una finalità di apprendimento oltre che di valutazione. I Risultati di Apprendimento dichiarati nel modulo sono raggiunti mediante la fruizione di una lezione semplificativa e successivamente attraverso lo studio autonomo e la risoluzione dei case-study proposti. Le attività delle E-tivity richiedono sempre l'utilizzo del forum di classe virtuale e consistono in discussioni di argomenti teorici e di esercizi.

N.B. Le E-tivity non sono da considerarsi Esoneri

#### **Risultati di Apprendimento**

Alla fine del modulo lo studente sarà in grado di:

- conoscere il software di simulazione HSPICE;
- simulare attraverso la metodologia a segnali continui o discreti
- costruire modelli simulativi di alto livello.

#### **Modulo 5 – Blocchi Logici ed Aritmetici**

**(4 lezioni di teoria videoregistrate per un impegno di 28 ore settimana 8)**

Alla fine del modulo lo studente:

- Conoscerà l'architettura di una ALU
- Ottimizzerà circuiti sommatore
- Saprà disegnare un moltiplicatore
- Conoscerà i traslatori Barrel e logaritmici
- Saprà trovare il compromesso tra velocità e consumo di una ALU

	<p><b>Modulo 6 – Memorie a Semiconduttore</b>  <b>(4 lezioni di teoria videoregistrate per un impegno di 28 ore settimana 9)</b>  Alla fine del modulo lo studente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Classificherà i vari tipi di memoria digitale</li> <li>• Saprà individuare i circuiti periferici essenziali</li> <li>• Saprà come temporizzare e controllare una memoria digitale</li> <li>• Conoscerà il consumo di potenza in fase di accesso e ritenzione</li> <li>• Avrà uno schema mentale dell'evoluzione delle memorie a semiconduttore</li> <li>• Saprà trovare il compromesso tra velocità e consumo di una memoria</li> </ul> <p>Esercitazioni su compiti d'esame (1 lezioni di esercitazione per un impegno di 6 ore – settimana 10).</p>
<p><b>Materiali di studio</b></p>	<p>· MATERIALI DIDATTICI A CURA DEL DOCENTE</p> <p>Il materiale didattico presente in piattaforma è suddiviso in 8 moduli. Essi ricoprono interamente il programma e ciascuno di essi contiene dispense, slide, videolezioni ed esercitazioni in cui il docente commenta le slide. Tale materiale contiene tutti gli elementi necessari per affrontare lo studio della materia.</p> <p>Testi consigliati:  J.M. Rabaey, A. Chandrakasan e B. Nikolic Circuiti Integrati Digitali Seconda edizione. Milano:Pearson,2005</p>
<p><b>Modalità di verifica dell'apprendimento</b></p>	<p>L'esame consiste nello svolgimento di una <b>prova scritta</b> tendente ad accertare le capacità di analisi e rielaborazione dei concetti acquisiti e di un progetto microelettronico (<b>E-tivity</b>) svolte durante il corso nelle <b>classi virtuali</b>.</p> <p>La valutazione della E-tivity prevista varia da 0 a 3 punti cadauna, è effettuata, in itinere, durante la durata del corso. L'esame di profitto è valutato per un punteggio totale di 30/30 e può essere effettuato in forma scritta sia presso la sede di Roma sia presso i poli didattici previa prenotazione da parte dello studente. Una votazione pari a 32/32 corrisponde a 30 e lode.</p> <p>L'esame di profitto prevede <b>45 domande a risposta multipla riguardanti sia il corso teorico che le esercitazioni di progettazione microelettronica</b>, praticamente disposte secondo le 6 parti in cui è diviso il corso. Tutte le domande vengono valutate da un minimo di 0 ad un massimo di 3 punti. Le domande sugli esercizi vengono prese dalle esercitazioni proposte in piattaforma e richiedono una rielaborazione dei concetti di teoria per applicarli ad un semplice caso concreto. La domanda che viene risposta in modo erroneo comporta una penalizzazione di un punto (-1). Per lo svolgimento degli esami è consentito l'utilizzo del formulario del corso caricato in piattaforma. Gli studenti sono invitati a stampare il formulario e a portarlo con sé il giorno dell'esame. Si invitano gli studenti ad usare in modo sistematico il formulario sin dalle prime fasi della preparazione dell'esame, in modo da prendere progressivamente confidenza con questo prezioso strumento.</p> <p>I risultati di apprendimento attesi circa le conoscenze della materia e la capacità di applicarle sono valutate dalla prova scritta, mentre le abilità comunicative, la capacità di trarre conclusioni e la capacità di autoapprendimento sono valutate in itinere attraverso le E-tivity, che dovranno essere consegnate al docente tramite messaggio in piattaforma al massimo due lunedì dopo la prova d'esame cui lo studente si è prenotato.</p> <p>Il materiale da consegnare per ciascuna E-tivity è costituito da un file relativo al software utilizzato per la progettazione del layout e la simulazione delle performance.</p>
<p><b>Criteri per l'assegnazione dell'elaborato finale</b></p>	<p>L'assegnazione dell'<b>elaborato finale</b> avverrà sulla base di un colloquio con il docente in cui lo studente manifesterà i propri specifici <b>interessi</b> in relazione a qualche argomento che intende approfondire; non esistono <b>preclusioni</b> alla richiesta di assegnazione della tesi e non è prevista una <b>media particolare</b> per poterla richiedere.</p>