



SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"OTTICA E IPERFREQUENZE"

SSD IINF-02/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno.

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base di elettromagnetismo applicato.

OBIETTIVI FORMATIVI

Fornire i metodi per lo studio della propagazione elettromagnetica alle iperfrequenze e in ottica necessari per l'analisi e il progetto di componenti e sistemi elettromagnetici. Applicare tali metodi a casi di interesse pratico.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere le caratteristiche della propagazione elettromagnetica alle iperfrequenze e in ottica, ed i principi della analisi di sistemi elettromagnetici operanti in tali bande.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di sapere applicare gli strumenti metodologici acquisiti durante il corso, con particolare riferimento alla analisi e sintesi di componenti e sistemi elettromagnetici operanti alle iperfrequenze e in ottica. Lo studente deve, inoltre, dimostrare di saper applicare le tecniche acquisite a casi di interesse pratico.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Ottica geometrica, derivazione e limiti. Ottica gaussiana. Tracciamento dei raggi. Teoria geometrica dei sistemi ottici. Aberrazione cromatica e monocromatica, approssimazione parassiale estesa, aberrazioni primarie. Sistemi ottici notevoli. Approssimazione di Ottica Fisica. Applicazione alle antenne a singolo e doppio riflettore; efficienza. Elementi di teoria della coerenza e di interferometria. Interferenza per divisione di ampiezza e di fronte d'onda. [2 CFU]

Cenno ai raggi complessi. Elementi di teoria della diffrazione. [1 CFU]

Approssimazione di Kirchhoff. Diffrazione di Fraunhofer. Diffrazione di Fresnel. Diffrazione da un semipiano, da una coppia di fessure. Cenni alla teoria geometrica della diffrazione. [2 CFU]

Sistemi SISO, SIMO, MISO e MIMO per il collegamento wireless ad alte prestazioni. Array di antenne. Principio di Moltiplicazione del Diagramma. Array mono-dimensionali e bidimensionali. Direttività di array broadside ed endfire. [2 CFU]

Elementi di calcolo numerico in elettromagnetismo: metodi full wave (metodo dei momenti, metodo alle differenze finite, metodo agli elementi finiti). [1 CFU]

Esercitazioni di laboratorio basate sull'utilizzo di strumenti di calcolo avanzato tipicamente impiegati nell'analisi e nella progettazione elettromagnetica. [1 CFU]

MATERIALE DIDATTICO

Si veda sito docente del titolare dell'insegnamento.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni ed esercitazioni di laboratorio.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

" MISURE A MICROONDE ED ONDE MILLIMETRICHE "

SSD IINF-02/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I,II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno.

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze base di elettromagnetismo applicato.

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso si propone due obiettivi principali. Il primo ha lo scopo di descrivere le principali tecniche di misura ed il principio di funzionamento degli strumenti più comunemente impiegati alle microonde e alle onde millimetriche. Il secondo di addestrare lo studente all'utilizzo dei più comuni strumenti di misura alle microonde ed onde millimetriche, grazie ad esperienze di laboratorio guidate.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere le principali tecniche di caratterizzazione di dispositivi operanti alle microonde ed onde millimetriche. Deve inoltre conoscere le architetture dei principali strumenti di misura, le più diffuse tecniche di calibrazione e gli ambienti di misura utilizzati in tale ambito.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di sapere applicare, nell'ambito della caratterizzazione sperimentale dei parametri elettromagnetici dei materiali e nell'ambito della caratterizzazione sperimentale di dispositivi operanti alle microonde ed onde millimetriche, gli strumenti metodologici acquisiti durante il corso e di saper utilizzare i moderni strumenti di misura adoperati nelle applicazioni.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Introduzione ai dispositivi ad N porte lineari e alla loro descrizione elettromagnetica mediante matrice delle impedenze, matrice delle ammettenze, matrice di diffusione e matrice di trasmissione. Dispositivi reciproci, simmetrici, senza perdite e completamente adattati. Proprietà. Teoria dei grafi per la descrizione dei circuiti a microonde ed onde millimetriche e regole elementari per la loro manipolazione. La regola di Mason per la soluzione rapida e generale di un grafo complesso. [1 CFU]

Richiami sull'adattamento di strutture guidanti e sull'utilizzo per la loro soluzione della carta di Smith: adattamento a $\lambda/4$, a singolo, doppio e triplo stub. Esercitazioni di laboratorio. Adattamento a parametri concentrati e realizzazione di elementi concentrati in strutture stampate operanti alle iperfrequenze. [2 CFU]

Strutture riflettometriche basate su accoppiatori direzionali o bridge per la caratterizzazione sperimentale a banda larga dei parametri in riflessione. Introduzione alla loro calibrazione. Strutture operanti in trasmissione per la caratterizzazione sperimentale a banda larga dei parametri in trasmissione. Introduzione alla loro calibrazione. Generatori di segnale: principi di funzionamento e loro utilizzo. Misure di potenza e power meter. Analizzatore di reti scalare (SNA) ed analizzatore di reti vettoriale (VNA): principio di funzionamento ed architetture più comuni (accoppiatori/bridge). Le calibrazioni più comuni di un SNA/VNA: calibrazione OSM/OSL, calibrazione 12 termini e calibrazione TSD; calibrazioni TRL, TRM, TRA e LRL, LRM, LRA. [3 CFU]

Progettazione dei carichi di calibrazione in coassiale. Analizzatore di spettro: principio di funzionamento ed architetture più comuni. Utilizzo di un analizzatore di spettro. Misure nel dominio del tempo. [1 CFU]

Spettroscopia alle microonde ed onde millimetriche. Caratterizzazione sperimentale dei parametri elettromagnetici dei materiali. [1 CFU]

Misure d'antenna e Camera Anecoica Elettromagnetica. [1 CFU]

MATERIALE DIDATTICO

Appunti del corso, libri di testo, pubblicazioni.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni, esercizi ed esperienze numeriche e sperimentali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

L'elaborato progettuale è composto dalle relazioni delle esperienze di laboratorio prodotte dallo studente alla fine del corso. Durante l'esame orale lo studente dovrà, in laboratorio, replicare alcune esperienze presentate durante il corso.

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"COMPONENTI E CIRCUITI OTTICI"

SSD IINF-02/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I/II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Elementi di base dell'elettromagnetismo applicato

OBIETTIVI FORMATIVI

Offrire gli elementi per la comprensione dei principi elettromagnetici di funzionamento dei componenti e dei circuiti ottici, basati anche su effetti non lineari, e le loro applicazioni più comuni.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere e saper comprendere le problematiche relative al funzionamento dei componenti e circuiti ottici d'uso più comune, dimostrando di sapere elaborare le nozioni teoriche apprese relativamente ai fenomeni elettromagnetici nelle bande di interesse.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Applicando gli strumenti metodologici appresi relativi ai fenomeni elettromagnetici alle frequenze ottiche, lo studente deve dimostrare di saper risolvere problemi concreti, relativi all'analisi e al progetto dei dispositivi e dei circuiti ottici.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Ottica in mezzi anisotropi: concetti fondamentali, strumenti teorici per l'analisi della propagazione alle frequenze ottiche e principali effetti utili nelle applicazioni. Elementi di olografia. [2 CFU]

Componenti ottici: principi di funzionamento, descrizione delle strutture e individuazione dei parametri di progetto. Strutture dielettriche guidanti step e graded index, guide periodiche, polarizzatori, beam-splitter, attenuatori, accoppiatori, interferometri, faraday rotators, isolatori, circolatori, multiplexer, demultiplexer, reticoli, filtri, componenti a cristalli liquidi, dispositivi olografici e dispositivi ottici di memorizzazione, scanner. [4 CFU]

Ottica non lineare: relazioni costitutive non lineari e tensore di suscettività; effetti non lineari del secondo e del terzo ordine; cenni agli effetti di ordine superiore. Applicazioni dell'ottica non lineare. Propagazione solitonica. [1.5 CFU]

Cenni alle metodologie e alle tecnologie per la realizzazione e caratterizzazione sperimentale di componenti ottici. Circuiti ottici: analisi e progetto dell'interconnessione fra componenti. Massima distanza del collegamento dettata dall'attenuazione e dalla dispersione. [1.5 CFU]

MATERIALE DIDATTICO

Si veda sito docente del titolare dell'insegnamento

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà:

a) lezioni frontali per circa il 70% delle ore totali, b) esercitazioni per approfondire praticamente aspetti teorici per 30%.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"SISTEMI AD ALTA FREQUENZA PER LA SICUREZZA ED IL 5G"

SSD IINF-02/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO: 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno.

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base di elettromagnetismo applicato.

OBIETTIVI FORMATIVI

Fornire le metodologie necessarie per l'analisi e la progettazione di sistemi ad alta frequenza per la sicurezza ed il 5G-NR.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere i principi di funzionamento e le caratteristiche radiative di sistemi d'antenna con prestazioni avanzate per la Sicurezza ed il 5G-NR. Deve inoltre saper riconoscere e comprendere i principi di funzionamento delle architetture per la trasmissione e ricezione a microonde ed onde millimetriche.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di sapere applicare, nell'ambito dei sistemi d'antenna per la Sicurezza ed il 5G-NR, gli strumenti metodologici acquisiti durante il corso, con particolare riferimento ai metodi di sintesi delle antenne e ai criteri di scelta delle architetture nonché al dimensionamento dei principali dispositivi coinvolti nei sistemi di rice-trasmissione.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Antenne a larga banda. Antenne notevoli: small antennas, antenne a fessura, antenne ad apertura, antenne a tromba, antenne a singolo e doppio riflettore e loro dimensionamento. [2 CFU]

Componenti fondamentali ad alta frequenza. [1 CFU]

La diffusione elettromagnetica e il concetto di Radar Cross Section (RCS); effetto Doppler. Array di antenne. Accoppiamento mutuo e sua rappresentazione in termini radiativi e circuitali. Sintesi di array di antenne: tecniche di sintesi canoniche. Antenne per applicazioni radar, scansione meccanica e scansione elettronica, phased array attivi e passivi. Reti di formazione del fascio, alimentazione true-time delay. Tecniche di riduzione della RCS di antenne. [2 CFU]

Sensori per applicazioni radar automotive e body scanner. Dispositivi e sistemi d'antenna per il 5G-NR. Progetto di sistemi 5G-NR, sistemi MIMO, architetture per la formazione del fascio mono- e bi-dimensionale, sistemi massive MIMO, sistemi multibanda, sistemi riconfigurabili. [1 CFU]

Architetture per trasmettitori e ricevitori con particolare enfasi alla bande delle microonde e delle onde millimetriche; transceiver; rumore. [1 CFU]

Laboratorio: analisi, progetto e verifica di alcuni sistemi notevoli. [2 CFU]

MATERIALE DIDATTICO

Si veda sito docente del titolare dell'insegnamento.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni ed esercitazioni di laboratorio.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova

scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"PROGETTI DI SISTEMI DI TELERILEVAMENTO"

SSD IINF-02/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

conoscenze di base di campi elettromagnetici e di teoria dei segnali

OBIETTIVI FORMATIVI

Esporre le tecniche da adottarsi per definire le specifiche e progettare un sistema di telerilevamento in grado di soddisfare requisiti assegnati dagli utenti. Presentare le logiche di progettazione dei sensori di telerilevamento ambientale attualmente disponibili o di prossima operatività. Descrivere le principali applicazioni dei dati telerilevati. Abilitare lo studente all'uso dei dati telerilevati effettivamente forniti dalle Agenzie Spaziali: questo obiettivo formativo è raggiunto attraverso l'impiego di dati, programmi di calcolo e strumenti di elaborazione messi a disposizione dalle Agenzie Spaziali stesse.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere e saper comprendere le problematiche legate al telerilevamento attivo e passivo, ai principali modelli di diffusione elettromagnetica di tipo superficiale e volumetrico, all'elaborazione di dati SAR in configurazioni avanzate. In tal senso il percorso formativo intende fornire agli studenti conoscenze specialistiche e strumenti metodologici avanzati per analizzare sistemi di telerilevamento e interpretare dati telerilevati di diversa natura.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di essere in grado di utilizzare le conoscenze acquisite applicandole concretamente alla progettazione di sistemi di telerilevamento per specifiche applicazioni e all'analisi ed elaborazione di dati telerilevati di diversa natura.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Dalle applicazioni del telerilevamento ai requisiti di sistema. Modelli di diffusione elettromagnetica per sistemi di telerilevamento. Superfici naturali: modelli geometrici ed elettromagnetici di superfici aleatorie, approssimazione di Kirchhoff, soluzioni di Ottica Fisica e Ottica Geometrica. Aree vegetate: modelli per strutture stratificate, teoria del trasferimento radiativo. Zone oceaniche: metodo delle piccole perturbazioni. Aree urbane: modelli per la diffusione e diffrazione elettromagnetica da diedri e triedri, Teoria Geometrica della diffrazione. Atmosfera. Simulazione al calcolatore di campi elettromagnetici diffusi.

Dai requisiti utenti alle specifiche di sistema. Sensori passivi e attivi. Radiometri. Sensori Ottici. Altimetri. Scatterometri. Radar ad Apertura Sintetica: elaborazioni spazio-varianti dei dati SAR, configurazioni Spotlight e Scansar, Topsar. Riflettometria GNSS. Simulazione al calcolatore di dati telerilevati.

Dalle specifiche di sistema alle scelte progettuali. Principali caratteristiche progettuali di alcuni sistemi di Telerilevamento esistenti e di prossima realizzazione delle agenzie spaziali: ASI, ESA, NASA.

Elaborazione dei dati telerilevati. Si adopera il laboratorio virtuale messo a disposizione specificatamente per questo corso dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) che consiste in elaboratori virtuali ad altissima capacità e velocità, software ESA della categoria SNAP, dati dall'Open Hub di ESA. Il tutto operabile dagli studenti sui propri PC. L'elaborazione dei dati può condurre ad una relazione che può essere oggetto di discussione all'esame.

MATERIALE DIDATTICO

Si veda sito docente del titolare dell'insegnamento

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali (67%) ed esercitazioni (33%)

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

" RADIOCOPERTURA PER RETI DI TELECOMUNICAZIONI "

SSD IINF-02/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I/II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Campi elettromagnetici e circuiti, Teoria dei segnali

OBIETTIVI FORMATIVI

Fornire agli studenti le basi teoriche e tecniche per la comprensione degli aspetti elettromagnetici inerenti alla pianificazione e alla progettazione di reti di telecomunicazioni wireless. Fornire agli studenti le conoscenze specialistiche sui metodi per la previsione del campo irradiato a frequenze delle microonde da un'antenna in un ambiente complesso (aree urbane, interni di edifici): ottica geometrica, teoria geometrica della diffrazione, metodi di tracciamento di raggi, metodi euristici.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere e saper comprendere gli aspetti elettromagnetici inerenti alla pianificazione e alla progettazione di reti di telecomunicazioni wireless. In tal senso il percorso formativo intende fornire agli studenti le conoscenze di base e gli strumenti metodologici essenziali per analizzare i principali metodi per la previsione del campo irradiato a frequenze delle microonde da un'antenna in un ambiente complesso (aree urbane, interni di edifici).

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di essere in grado di utilizzare le conoscenze acquisite per risolvere problemi concernenti la pianificazione e la progettazione di reti di telecomunicazioni wireless, utilizzando i metodi, appresi durante il corso, per la previsione del campo irradiato da un'antenna in aree urbane e interni di edifici.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Interazione tra campi elettromagnetici e ambiente. Richiami di elettromagnetismo, ottica geometrica, teoria geometrica della diffrazione, teoria uniforme della diffrazione, segnali a banda stretta, segnali a banda larga, tecniche di ray-tracing e loro attuazione su sistemi di calcolo [3 CFU].

Aspetti elettromagnetici nella progettazione di collegamenti. Collegamenti punto-punto e punto-multipunto e loro progettazione, collegamenti outdoor, modelli per collegamenti in ambiente rurale, urbano, collegamenti indoor, modelli per collegamenti in edifici e gallerie, campo elettromagnetico indoor generato da reti a sviluppo outdoor, modelli per reti di telefonia mobile (GSM, UMTS, LTE, 5G), WiFi e reti di sensori wireless. Cenni sulle scelte progettuali, aspetti elettromagnetici [3 CFU].

Collegamenti satellitari, connessioni reti mobili - reti fisse, tecniche per la diffusione del segnale televisivo e radiofonico, simulazione al calcolatore di aree di copertura per reti cellulari e WiFi, verifica delle caratteristiche del canale trasmissivo [2 CFU]

Cenni sui sistemi di radiolocalizzazione: GNSS (GPS, GLONASS e GALILEO); metodi "signal strength", ToA, TDoA, AoA, "fingerprinting" [0,5 CFU].

Normativa sui limiti di esposizione ai campi elettromagnetici: la legge quadro e il decreto ministeriale 381/98, modifiche successive [0,5 CFU].

MATERIALE DIDATTICO

SI VEDA SITO WEB DEL DOCENTE DELLA MATERIA

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali per circa il 70% delle ore totali ed esercitazioni al calcolatore per il restante 30%.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

TOMOGRAFIA E IMAGING: PRINCIPI, ALGORITMI E METODI NUMERICI

SSD IINF-02/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: II

SEMESTRE: I

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenza degli elementi di base dell'elettromagnetismo applicato.

OBIETTIVI FORMATIVI

L'obiettivo formativo è fornire le conoscenze, fino al livello operativo, per comprendere il funzionamento di sistemi d'interesse per un ampio spettro di applicazioni della vita reale basata sulla Tomografia e l'Imaging elettromagnetici. Le applicazioni d'interesse riguarderanno la tomografia nelle applicazioni industriali e nelle applicazioni medicali (Microwave Tomography), l'imaging nelle applicazioni di sicurezza (body scanning), la diagnostica per immagini (TAC, PET e MRI) e il Ground Penetrating Radar.

In particolare, si richiameranno i principi fondamentali della Tomografia e dell'Imaging elettromagnetici e si comprenderanno gli algoritmi effettivamente utilizzati per la loro elaborazione sino ad un livello di dettaglio operativo. Infine, si metteranno in pratica, in laboratorio, le conoscenze acquisite nella implementazione di alcuni semplici esempi di Tomografia e Imaging in codici di calcolo in grado di operare a partire da dati realistici.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di aver acquisito adeguata conoscenza dei principi fisici alla base delle principali tecniche di tomografia e imaging elettromagnetiche, quali la CAT, l'MRI, l'imaging a microonde e l'imaging passivo. Lo studente deve dimostrare di aver raggiunto anche una sufficiente comprensione delle motivazioni e dei limiti delle tipiche approssimazioni adottate in tali ambiti, utilizzate anche per la linearizzazione dei legami. Inoltre, deve aver raggiunto adeguata consapevolezza delle cause della malposizione di un problema inverso lineare e dei principali metodi di regolarizzazione con particolare riferimento al compromesso in termini di filtraggio del rumore e capacità di risoluzione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper mettere in pratica, attraverso la descrizione analitica di appropriati algoritmi di calcolo, metodi iterativi e non iterativi per la soluzione di problemi tomografici. In particolare, deve essere in grado di discutere nel dettaglio metodi classici di regolarizzazione quali la tecnica di Tikhonov e le sue declinazioni in termini di iterazioni di Landweber e steepest descent nonché di Decomposizione ai Valori Singolari. Deve anche dimostrare un adeguato grado di capacità di gestione relativamente ai problemi di calcolo veloce per applicazioni tomografiche.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Richiami sugli elementi di base dell'elettromagnetismo. Il concetto di funzione di Green. Sorgenti elettromagnetiche e radiazione. Equazione della radiazione. La diffusione elettromagnetica e il concetto di campo incidente, campo diffuso e campo totale. Equazione della diffusione elettromagnetica. Introduzione alla tomografia e imaging elettromagnetici.

Richiami ai principi fisici alla base della TAC, PET, MRI. [2 CFU]

Richiami agli algoritmi fondamentali per il trattamento dei dati (trasformata di Radon, backprojection, FFT e Non-Uniform FFT, ART, etc.). [1 CFU]

Problemi inversi e il concetto di mal posizione e mal condizionamento nella loro soluzione. Metodi per la soluzione e la discretizzazione delle equazioni di interesse. Algoritmi numerici per la soluzione del problema discreto. Tecniche di regolarizzazione e preconditionamento, e analisi delle prestazioni (SVD, gradiente coniugato, gradiente biconiugato stabilizzato, total variation, etc.). Tecniche algoritmiche ed implementative per la soluzione numerica e l'accelerazione dell'elaborazione. [2 CFU]

Applicazioni alla tomografia, al body scanning, al Ground Penetrating Radar, alla TAC, alla PET e alla MRI. [2 CFU]

Esercitazioni di laboratorio, sia di tipo numerico che di tipo sperimentale. [2 CFU]

MATERIALE DIDATTICO

SI VEDA SITO WEB DEL DOCENTE DELLA MATERIA

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni ed esercitazioni di laboratorio.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) **Modalità di esame:**

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) **Modalità di valutazione:**

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"IMAGE PROCESSING FOR COMPUTER VISION"

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO: 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: I, II

SEMESTRE: II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Teoria dei Segnali

OBIETTIVI FORMATIVI

L'insegnamento si propone di fornire agli studenti nozioni approfondite sullo sviluppo e l'applicazione di tecniche di elaborazione delle immagini per la soluzione di tipici problemi di *computer vision*, spaziando da metodi tradizionali per l'elaborazione dei segnali, cioè orientati alla modellizzazione, ad approcci moderni basati su reti neurali convoluzionali. Specifici problemi di *computer vision* considerati quali obiettivi formativi del corso sono la rivelazione, caratterizzazione ed il *matching* di *feature* locali, il *fitting* e l'allineamento di modelli geometrici, la classificazione di immagini, la segmentazione semantica o per istanze di immagini, la rivelazione, localizzazione ed il riconoscimento degli oggetti, la stima della posa, la stima della profondità, la corrispondenza stereo, la ricostruzione 3D da viste multiple.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente dovrà conoscere sia tecniche di filtraggio classiche che approcci basati su moderne reti neurali convoluzionali per la soluzione di problemi di visione computazionale quali la rivelazione, descrizione ed il *matching* di *feature* locali, il *fitting* e l'allineamento di modelli geometrici, la classificazione di immagini, la segmentazione semantica o per istanze, la rivelazione, localizzazione e riconoscimento di oggetti, la stima della posa, la stima della profondità, la corrispondenza stereo, la ricostruzione 3D da viste multiple, dalla prospettiva dell'elaborazione dei segnali. Per i problemi elencati lo studente dovrà altresì conoscere le metriche o gli indici prestazionali utili alla valutazione delle possibili soluzioni.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve acquisire la capacità di progettare, sviluppare e testare algoritmi di elaborazione delle immagini allo stato dell'arte finalizzati alla risoluzione di comuni problemi di visione computazionale, tra cui la rivelazione, descrizione ed il *matching* di *feature* locali, il *fitting* e l'allineamento di modelli geometrici, la classificazione di immagini, la segmentazione semantica o per istanze, la rivelazione, localizzazione e riconoscimento di oggetti, la stima della posa, la stima della profondità, la corrispondenza stereo, la ricostruzione 3D da viste multiple.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Richiami sul filtraggio delle immagini. Dominio spazio-scala e decomposizione piramidale. Richiami sugli ambienti di programmazione per lo sviluppo di algoritmi di *computer vision*.

Formazione dell'immagine: La luce e il colore. Il modello *pinhole camera*. La proiezione del mondo 3D nel piano dell'immagine: matrice di proiezione della camera e calibrazione della camera. Trasformazioni geometriche di tipo proiettivo.

Early vision: Rivelazione dei contorni; segmentazione mediante trasformata *watershed*; *template matching* e descrizione tessiturale; rivelazione di angoli (*Harris detector*) e linee (trasformata di Hough).

Rivelazione e descrizione di keypoint: Definizione di *keypoint* e proprietà di ripetitività. Proprietà di invarianza dei rivelatori rispetto ad illuminazione, traslazione, rotazione, scala, trasformazioni affini e omografie. Rivelatore di Harris. Differenza di gaussiane (DoG). Piramide di DoG. Orientazione e scala di un *keypoint*. Descrittori di *feature*: proprietà discriminative; descrittori di comune impiego (SIFT, SURF, MSER,...); descrittori di forma e contesto.

Matching, fitting ed allineamento: *Matching* di *feature* mediante criterio del rapporto delle distanze. *Fitting* ed allineamento: metodo dei minimi quadrati lineare o robusto; algoritmo ICP; trasformata di Hough generalizzata; algoritmo RANSAC. Rivelazione, riconoscimento e classificazione.

Elaborazione delle immagini mediante reti neurali convoluzionali (CNN): Architetture convoluzionali per l'elaborazione delle immagini. Addestramento di CNN per l'elaborazione delle immagini: backpropagation e algoritmo di ottimizzazione SGD (e varianti). Moduli (*layer*) di comune impiego: convoluzione, *pooling*, *unpooling*, *batch normalization*, funzioni di attivazione (ReLU e sue varianti, Tanh, sigmoide). Funzioni di costo per l'elaborazione delle immagini. *Dropout* e *data augmentation*. Modelli CNN per super-risoluzione, classificazione, segmentazione, rivelazione e localizzazione di oggetti, stima della profondità, stima della posa.

Visione multi-view: Visione stereo: disparità e profondità. Vincoli epipolari; matrice essenziale e matrice fondamentale. Problemi di corrispondenza densi. Ricostruzione 3D da *multi-view: Structure from Motion (SfM)*.

MATERIALE DIDATTICO

- R. Szeliski, "Computer vision: algorithms and applications", Springer 2010.
- R.-I. Hartley, A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision", C. U. P., 2nd Ed., 2004.
- I. Goodfellow, et al., "Deep Learning", MIT Press, 2017.
- Dispense del docente.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il corso prevede sia lezioni frontali (circa il 60% del totale) che attività di laboratorio. Sono tra l'altro previsti tutorial introduttivi sia sul linguaggio di programmazione Python e gli annessi *toolbox* per il *deep learning* che sull'uso di piattaforme di calcolo in *cloud* funzionali agli obiettivi del corso. Parte delle ore di laboratorio saranno dedicate allo sviluppo in itinere, con tutoraggio, dei progetti degli studenti ai fini della valutazione finale.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	
altro	X

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

L'esame prevede la presentazione di un progetto svolto individualmente o in gruppo, con relativa discussione, ed un colloquio generale sui contenuti del corso. Il progetto è di norma sviluppato in itinere e presentato al termine del corso in un *workshop* di chiusura, mentre il colloquio può tenersi in qualsiasi appello dell'a.a. corrente senza vincoli temporali.

b) Modalità di valutazione:

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"ELABORAZIONE DEI SEGNALI DIGITALI"

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO: 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: I

SEMESTRE: II

CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Analisi Matematica II, Geometria e Algebra, Teoria dei Segnali

OBIETTIVI FORMATIVI

L'insegnamento si propone di fornire agli studenti i concetti fondamentali per l'estrazione di informazione da un insieme dati. Il percorso formativo comprende sia la teoria classica della stima /classificazione bayesiana e non, sia la sua connessione alle più recenti tecniche di elaborazione e rappresentazione efficienti dei dati.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere i concetti fondamentali della teoria della stima bayesiana, non bayesiana e robusta, nonché i fondamenti della teoria della rivelazione di segnali secondo Bayes e secondo Neyman-Pearson. Lo studente deve anche dimostrare di saper applicare la teoria alla risoluzione di problemi tipici dell'ingegneria ed in particolare delle telecomunicazioni.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti le conoscenze e gli strumenti metodologici di base necessari per 1) individuare le tecniche di stima e rivelazione più adeguate all'estrazione di informazioni da un certo numero di misure o osservazioni modellate come realizzazioni di variabili aleatorie la cui caratterizzazione statistica è legata all'informazione da estrarre, 2) implementare classificatore/stimatore più adeguato allo scopo e analizzarne le prestazioni.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Elementi di analisi matriciale. Teoria della stima. Generalità, parametri di qualità.

Rappresentazione ed elaborazione dei dati: Statistica Sufficiente, Riduzione della dimensionalità, estrazione delle feature.

Stima di parametri: Principio della massima verosimiglianza e Stima a massima verosimiglianza di modelli lineari. Metodo dei minimi quadrati.

Stima bayesiana: Stima massima probabilità a posteriori (MAP). Stima a minimo errore quadratico medio (MMSE), Stima lineare MMSE. Classificazione: Generalità, parametri di qualità.

Stime Robuste, Compressed sensing.

Classificazione: non bayesiana: Classificazione a massima verosimiglianza, Criterio di Neyman-Pearson, Test di ipotesi composte. Classificazione bayesiana: regola MAP ed a massima verosimiglianza.

Algoritmi adattativi.

MATERIALE DIDATTICO

Appunti del corso:

S.M. Kay: "Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume I e II: Estimation Theory ", Prentice Hall, 1993.

S.M. Kay: "Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume II: Detection Theory ", Prentice Hall, 1998

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà lezioni frontali per il 100% delle ore totali che includono sia teoria che esercitazioni. Saranno infine dispensate ulteriori esercitazioni/progetti da svolgere a casa per approfondire praticamente gli aspetti teorici corrette in vista della verifica di apprendimento insieme con il docente.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	X

(*) È possibile rispondere a più opzioni

La prova orale prevede la discussione di elaborato progettuale.

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"ELABORAZIONE DI SEGNALI MULTIMEDIALI"

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I-II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Nessuno

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivo dell'insegnamento è di fornire la conoscenza dei concetti di base e degli algoritmi per l'elaborazione di immagini digitali e presentare le principali tecniche per la codifica di immagini fisse e sequenze video, con particolare attenzione agli standard più comuni. Oltre a fornire gli strumenti matematici e concettuali per trattare analiticamente questi argomenti, il corso si propone di dare le conoscenze necessarie per sviluppare in Python i principali algoritmi per l'elaborazione delle immagini.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere e saper comprendere gli strumenti metodologici per l'analisi e l'elaborazione delle immagini. Tali strumenti consentiranno agli studenti di risolvere problemi più complessi sia nel dominio dello spazio che nel dominio della frequenza.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper ragionare sulle problematiche riguardo l'analisi e l'elaborazione di immagini e di saper scegliere la tecnica più adatta per la risoluzione di un problema pratico.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Enhancement di immagini. Enhancement nel dominio spaziale. Trasformazioni basilari dell'intensità: operazioni puntuali lineari e non lineari. Equalizzazione dell'istogramma. Bit-plane slicing. Operazioni aritmetiche. Operazioni geometriche. Basi del filtraggio spaziale. Filtri di smoothing e di sharpening. Filtro mediano. Operazioni morfologiche. Enhancement nel dominio frequenziale. Trasformata di Fourier bidimensionale. DFT-2D. Esempi di filtro passa-basso e passa-alto. Filtraggio in frequenza: filtri ideali, filtri di Butterworth e filtri gaussiani.

Rappresentazione del colore. Cenni sul sistema visivo umano. Coni e bastoncelli. Sensibilità relativa dei coni di tipo S, M e L. Teoria tricromatica dei colori. Color matching. Gli spazi di colore (RGB, HSI). Pigmenti: colorazione sottrattiva, sistemi di stampa CMY, CMYK (quadricromia).

Segmentazione. Tecniche edge based. Point detection e line detection. Gradienti di Roberts, Prewitt e Sobel. Thresholding del gradiente. Zero-crossing del Laplaciano. Canny edge detector. Tecniche class-based. Algoritmo K-means.

Compressione di immagini. Codifica di sorgente. Generalità sulla compressione dati. La quantizzazione. Quantizzazione uniforme e non uniforme. Codifica predittiva. Schema del codificatore e decodificatore. Quantizzazione predittiva. Codifica mediante trasformata. Compattazione dell'energia e allocazione ottima delle risorse. Le trasformate lineari. Trasformata di Karhunen-Loève e sue proprietà. Trasformata coseno discreta. Lo standard JPEG.

Codifica video. Generalità sul segnale video. Compressione spaziale e temporale. Conditional replenishment e compensazione del movimento. Il codificatore ibrido. Cenni allo standard MPEG-1 e MPEG-2. La scalabilità in risoluzione e in frame-rate

Trasformata Wavelet. Localizzazione tempo-frequenza. Wavelet continua (CWT). Mother Wavelet. Analisi multirisoluzione, funzione di scaling. Equazioni MRA. Estensione al caso bidimensionale. Implementazione della trasformata wavelet discreta (DWT). Banco di filtri di analisi e sintesi. Codifica mediante Wavelet. Algoritmo

EZW.

Applicazioni. Esempi di applicazioni avanzate per l'elaborazione di immagini: denoising, super-risoluzione, riconoscimento di volti o oggetti, classificazione mediante descrittori locali, segmentazione semantica, riconoscimento di manipolazioni nelle immagini e nei video anche con tecniche basate sull'apprendimento (cenni alle reti neurali convoluzionali).

MATERIALE DIDATTICO

Libri di testo consigliati:

- R.C.Gonzalez, R.E.Woods: "Digital image processing", 3rd edition, Prentice Hall, 2008.
- A.Bovik: "The essential guide to image processing", Academic Press, 2009.
- K.Sayood: "Introduction to data compression", 2nd edition, Morgan Kaufmann, 2000.

Appunti del corso di Elaborazione di Segnali Multimediali: <http://wpage.unina.it/verdoliv/esm/>

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

La didattica è erogata: a) per circa il 70% con lezioni frontali; b) per circa il 30% con esercitazioni guidate in laboratorio per lo sviluppo di applicazioni software in Python per comprendere al meglio le tecniche studiate. Gli argomenti delle lezioni frontali e delle esercitazioni sono esposti con l'ausilio di lavagne elettroniche e/o trasparenze dettagliate, messe a disposizione dello studente nel materiale didattico tramite il sito web ufficiale del docente. E' anche prevista la registrazione delle lezioni.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	
Altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

L'esame si articola in una prova scritta e una orale. La prova scritta, che consiste di tre algoritmi da sviluppare in Python al calcolatore, può essere sostituita dallo sviluppo di un progetto pratico in Python su un'applicazione avanzata di elaborazione di immagini. La prova orale consiste in due domande su problemi/algoritmi esposti al corso.

b) Modalità di valutazione:

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"INGEGNERIA DEL SUONO"

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO: 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): II

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Nessuno

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivo dell'insegnamento è fornire una conoscenza approfondita del suono e della sua elaborazione per i principali ambiti applicativi d'interesse, come la creazione di contenuti multimediali, concerti e convegni dal vivo, registrazioni di musica ed effetti speciali, preparazione dell'audio per film e programmi televisivi. La conoscenza parte dall'acustica e psicoacustica, fino ad arrivare alle apparecchiature analogiche e digitali per l'elaborazione dell'audio.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di comprendere la fisiologia del sistema acustico umano e della psicoacustica e, su queste basi, di comprendere il funzionamento della percezione acustica. Inoltre, deve conoscere le basi di funzionamento delle principali apparecchiature audio per poterle utilizzare e/o progettare al meglio nei diversi ambiti applicativi d'interesse.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper ragionare sulle problematiche acustiche e di saper scegliere la tecnologia più adatta per la risoluzione di problemi audio.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Audio e Acustica

Principi della diffusione delle onde audio e dell'acustica. Decibel e livello, frequenza e lunghezza d'onda, sovrapposizione, Impedenza. L'orecchio umano. Il monitoraggio dell'audio, la radiazione acustica

Psicoacustica

La percezione umana, l'orecchio e la sua fisiologia, elaborazione del segnale audio nell'uomo. Mascheratura, filtri uditivi, la non linearità dell'orecchio, percezione della fase, loudness, mel. Ricezione binaurale, pitch e timbro. Il processo mentale di percezione acustica, localizzazione dei suoni. Effetto Hall, Franssen, Cocktail Party.

Microfoni

Tipologie di microfoni, classificazione, risposta spaziale, costruzione dei microfoni. Effetto di prossimità. Risposta in frequenza. Tipi di cardioidi e microfoni PZM. Trasduttori a carbone, cristalli e ceramici. Trasduttori dinamici e a condensatore. L'alimentazione Phantom. Risoluzione della non linearità dei microfoni a condensatore. Microfoni a nastro. Misure sui microfoni: sensibilità, rumore termico, esempio di lettura di caratteristiche di un microfono. Grounding, polarità, balanced vs. unbalanced, Impedenza. Posizionamento dei microfoni. Tecniche di microfonação: Stereo, Mid/Side, 3 to 1, microfonação degli strumenti musicali.

Altoparlanti

Utilizzo degli altoparlanti. Costruzione. Filtri di crossover attivi e passivi. Tipologie di altoparlanti: dinamici, dome, planari, a nastro, a corno, piezo, whizzer e coassiali. Casse: costruzione e descrizione delle tecniche costruttive. Polarità ed impedenza. Specifiche. Distorsione.

Mixer

Funzioni presenti e descrizione della loro applicabilità.

Effetti audio

Processori dinamici: compressori e limitatori, noise gate ed expander, tremolo, autopanner, volume mazimizer. Processori in frequenza: equalizzatori, Wah Wah, vibrato, formant, vocoder, talk box. Processori nel dominio del tempo: echo, riverbero, phasers e flangers. Processori di pitch. Altri effetti audio.

Altre apparecchiature audio

DI Box, patch bay, synthesiser, preamplificatori microfonic.

Audio Digitale

La digitalizzazione dell'audio. Digitalizzatori. Compressione digitale. Il protocollo MIDI. Le DAW Digital Audio Workstations. I software di composizione, mixing, mastering, elaborazione audio.

MATERIALE DIDATTICO

Libro di testo:

Ballou G. "Handbook for Sound Engineers", Elsevier ISBN: 978-0-240-80969-4

Approfondimenti:

Winer E. "The Audio Expert". Routledge ISBN: 978-0-415-78883-0

Alton Everest "The Master handbook of Acoustics" McGraw Hill, ISBN 978-0-070-19897-5

Douglas S. et al. "Audio Engineering: Know It All" Elsevier ISBN: 978-1-85617-526-5

Miles Huber D. "The MIDI Manual" Elsevier ISBN: 978-0-240-80798-0

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

La didattica è erogata: a) per l'80% con lezioni frontali; b) per il 20% su attività laboratoriale per lo sviluppo di applicazioni audio software per comprendere al meglio le tecniche studiate.

Gli argomenti delle lezioni frontali e dei seminari sono esposti con l'ausilio di trasparenze dettagliate, messe a disposizione dello studente nel materiale didattico tramite il sito web ufficiale del docente.

Si prevede di organizzare la visita ad uno studio di registrazione di uno dei migliori ingegneri del suono italiani.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
Altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

L'esame si articola in una prova solo orale, consistente su domande su altrettanti problemi esposti al corso su cui si richiede un ragionamento da parte dello studente per la risoluzione di particolari problematiche di registrazione o processing audio.

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"QUANTUM INFORMATION"

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO: 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I-II

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base di algebra lineare

OBIETTIVI FORMATIVI

L'obiettivo del corso è fornire agli studenti una visione ampia dell'informazione e computazione quantistica da una prospettiva dell'ingegneria delle comunicazioni. Nello specifico, gli studenti familiarizzeranno con gli elementi di base della teoria dell'informazione quantistica, quali qubit, superposition, quantum measurement, no-cloning ed entanglement. Partendo da queste premesse, verranno discusse le principali applicazioni, incluse comunicazioni sicure – analizzando tecniche di Quantum Key Distribution (QKD) – e tecniche di comunicazione quantistica basate su entanglement – quali superdense coding e quantum teleportation. In tali scenari di trasmissione di informazione classica e quantistica, si forniranno inoltre agli studenti gli strumenti per comprendere le peculiarità del rumore quantistico rispetto al rumore classico. Gli studenti acquisiranno anche la capacità di comprendere le ragioni per cui l'elaborazione dell'informazione quantistica può abilitare tecniche di machine learning e artificial intelligence caratterizzate da prestazioni superiori a quelle garantite da approcci classici. Gli studenti avranno l'opportunità di eseguire semplici esperimenti su un vero computer quantistico tramite la piattaforma IBM Q-Experience.

Infine, il corso vuole fornire allo studente contenuti e linguaggio necessari per consentirgli di approfondire autonomamente le tematiche trattate nel corso, di seguire seminari di approfondimento.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il corso si propone di fornire agli studenti i principi e gli strumenti metodologici necessari per apprendere e comprendere le problematiche che sorgono con la trasmissione e l'elaborazione dell'informazione quantistica. In particolare lo studente deve acquisire gli strumenti per comprendere le peculiarità del rumore quantistico rispetto al rumore classico. Inoltre, il corso consente agli studenti di comprendere le somiglianze e le differenze tra comunicazioni classiche e quantistiche, e di cogliere le implicazioni e le opportunità abilitate da tali differenze.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Gli studenti devono dimostrare la capacità di applicare le conoscenze acquisite e gli strumenti metodologici all'analisi e alla progettazione di tecniche di comunicazione quantistica, sia in condizioni ideali che in presenza di rumore quantistico. Gli studenti devono anche essere in grado di approfondire autonomamente aspetti delle tematiche trattate nel corso e di seguire seminari di approfondimento, sfruttando i contenuti e il linguaggio forniti dal corso.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Parte I: Fondamenti

- Informazione Quantistica: Qubit vs Bit, Spazio di Hilbert, notazione ket-bra, Sfera di Bloch, Sistemi a più qubits
 - o Lab-1: Introduzione alla piattaforma IBM Quantum (IBM-Q) Experience
 - o Lab-2: Visualizzazione di stati quantistici su IBM-Q
- Computazione Quantistica: Trasformazioni di stati quantistici, Theorema del No-Cloning, principali gates quantistici, la misura quantistica
 - o Lab-3: Trasformazioni di stati quantistici su IBM-Q

- L'entanglement quantistico: Stati di Bell, paradosso EPR
 - o Lab-4: Generazione di entanglement sulla piattaforma IBM-Q
 - Rumore quantistico: stati puri e stati misti, operatore densità, decoerenza, modelli di canale quantistico
- Parte II: Applicazioni
- Comunicazioni Sicure: principi di crittografia quantistica, protocollo BB84, protocollo Ekert-91, implementazioni pratiche
 - o Lab-5: protocollo BB84 su IBM-Q
 - Comunicazioni quantistiche: protocollo di teleporting, effetti di rumore sul teleporting, fidelity
 - o Lab-6: protocollo di teleporting su IBM-Q
 - o Lab-7: state tomography su IBM-Q
 - o Lab-8: process tomography su IBM-Q
 - Elaborazione dell'informazione quantistica per Machine Learning e Artificial Intelligence: semplici routines quantistiche, amplitude amplification e interferenza quantistica, cenni al Grover's search learning, tecniche di elaborazione quantistica distribuita
 - o Lab-9: routines quantistiche su IBM-Q

MATERIALE DIDATTICO

Indicare i libri di testo consigliati o altro materiale didattico utile.

Dispense/Slides redatte dal docente e disponibili nell'area dedicata su docenti.unina.it.

Libri di testo consigliati:

- Nielsen and Chuang, "Quantum computation and information", Cambridge University Press, 10th Edition, 2020
- Rieffel and Polak, "Quantum Computing: a Gentle Introduction", MIT Press, 2011

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il corso è organizzato integrando lezioni frontali con sessioni di laboratorio interattive. Durante il corso saranno inoltre organizzati seminari invitando esperti negli ambiti di interesse e saranno adottati metodi di insegnamento innovativi, come flipped classroom e feedback teaching strategies.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	

	Esercizi numerici	
--	--------------------------	--

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"RADIOLOCALIZZAZIONE TERRESTRE E SATELLITARE "

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO: 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I-II

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Nessuno

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivi dell'insegnamento sono fornire le principali metodologie e tecniche di elaborazione dei segnali per la localizzazione tramite onde radio e introdurre i principi di funzionamento dei moderni sistemi di radiolocalizzazione terrestri e satellitari, nonché le diverse fenomenologie di canale e di interferenza. Ulteriore scopo è definire gli strumenti per l'analisi e il dimensionamento di tali sistemi di telecomunicazione.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere le principali tipologie e modalità operative dei sistemi di localizzazione/posizionamento basati su onde radio; deve avere padronanza dei principali metodi/algoritmi per l'estrazione (dal segnale radio proveniente da specifici trasmettitori) di informazioni legate alla posizione dell'utente (quali misure dei tempi di arrivo, angoli di arrivo, frequenze Doppler). Deve dimostrare di conoscere l'architettura, il funzionamento e le limitazioni dei moderni sistemi di radiolocalizzazione terrestri e satellitari. Deve inoltre dimostrare di saper analizzare le prestazioni di tali sistemi (in termini di accuratezza della stima della posizione) in particolare nelle condizioni operative nominali.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper dimensionare i principali parametri di un sistema radiolocalizzazione (quali, banda, potenza, frequenza operativa e dimensioni delle antenne) in base ai requisiti prestazionali ed al contesto operativo, utilizzando modelli opportuni per la loro selezione. Deve mostrare la capacità di riconoscere le principali problematiche (cause di degradazione delle prestazioni) che intervengono nei processi di radiolocalizzazione (terrestri e satellitari) per fissati scenari. Deve altresì essere in grado di saper scegliere gli schemi di elaborazione dei segnali idonei all'estrazione dell'informazione per la radiolocalizzazione in presenza di fenomeni propagativi deleteri, quali multipath, fading ed effetti atmosferici.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Tassonomia e principi di base dei sistemi di radiolocalizzazione. Principali parametri per la radiolocalizzazione e relativi metodi di stima. Radiolocalizzazione passiva: strategie di localizzazione basate sugli angoli di arrivo, sui tempi di arrivo, sulla differenza dei tempi di arrivo, sulla differenza delle frequenze di arrivo; sistemi ibridi; applicazioni alle reti cellulari e WIFI. Radiolocalizzazione satellitare: principi di funzionamento ed architetture dei sistemi GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO); caratteristiche dei segnali trasmessi; architettura dei ricevitori e tecniche di elaborazione del segnale per effettuare il posizionamento; sistemi multiconstellazione e sistemi di "augmentation". Applicazione della radiolocalizzazione alla sicurezza della navigazione aerea e marittima: principi di funzionamento dei principali sistemi per la radionavigazione aerea; controllo del traffico aereo e funzionamento dei radar di sorveglianza secondario; modo S e sistema ADS-B; sistema TCAS per il "collision avoidance"; principi di funzionamento del sistema di identificazione automatica per il tracciamento marittimo.

MATERIALE DIDATTICO

Libri di testo:

P. Misra and P. Enge, "Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance", 2nd ed. Ganga-Jamuna Press, 2011.

M. Nolan, "Fundamentals of Air Traffic Control", 5th ed. CENGAGE Brain, 2011.

K. W. Kolodziej and J. Hjelm, "Local Positioning Systems", CRC Press, 2006.

Dispense:

“Slide del corso”, distribuite annualmente.

Approfondimenti:**MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO**

La didattica è erogata per il 100% con lezioni frontali, che includono sia teoria che esercitazioni al calcolatore.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE**a) Modalità di esame:**

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
Altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"RETI WIRELESS"

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I-II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base di reti di telecomunicazioni e/o di calcolatori

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso fornisce allo studente nozioni specialistiche per il design e la progettazione di reti wireless, con enfasi sulle principali tecnologie innovative ed i trends tecnologici: dalle reti classiche alle quantum networks.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti le conoscenze e gli strumenti metodologici specialistici necessari per il design di protocolli per reti wireless e per quantum networks. A tal fine, lo studente deve conoscere i principi di progettazione di una rete wireless. Deve inoltre conoscere le principali tecnologie e i principali standard. Deve infine distinguere i requisiti e le caratteristiche distintive dei diversi scenari applicativi. Deve inoltre conoscere le principali tecnologie innovative ed i trends tecnologici, con particolare enfasi alle quantum networks.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve essere in grado di identificare le criticità e i requisiti di una rete wireless. Deve inoltre essere in grado di individuare le limitazioni e le problematiche dei diversi standard. Deve essere in grado di progettare algoritmi e/o protocolli per reti wireless in scenari eterogenei. Deve essere in grado di individuare le principali limitazioni degli algoritmi e dei protocolli classici, se applicati a reti quantistiche.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Parte A: Fondamenti

Generalità sulle reti e sui servizi di telecomunicazione. Architetture e topologie delle reti wireless. Data Link Layer per wireless networks. Protocolli di accesso per reti wireless. Modellazione e analisi delle prestazioni: ALOHA, slotted-ALOHA, CSMA-CD, CSMA-CA & 802.11 DCF. Protocolli di controllo di errore per reti wireless. Modellazione e analisi delle prestazioni: stop-and-wait, go-back-N, selective repeat. Principali standard per reti wireless.

Network Layer per wireless networks. Topologie: ad-hoc vs mesh vs infrastrutturata. Routing proattivo vs reattivo: AODV, OLSR. Metriche di routing: ottimalità.

Parte B: Evoluzione: dalle reti classiche alle quantum networks. Principi architetturali. Entanglement come risorsa di rete. Entità di rete: nodi, repeaters e sorgenti di entanglement. Stack protocollare: verso la standardizzazione della Quantum Internet.

MATERIALE DIDATTICO

SI VEDA SITO WEB DEL DOCENTE DELLA MATERIA

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il corso è organizzato integrando lezioni frontali con sessioni di laboratorio interattive. Durante il corso saranno inoltre organizzati seminari invitando esperti degli ambiti di interesse e saranno adottati metodi di insegnamento innovativi, come flipped classroom e feedback teaching strategies.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE

SSD TELECOMUNICAZIONI (IINF-03/A)

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO: INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI (P49)

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:
TELEFONO:
EMAIL:

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE): NO
MODULO (EVENTUALE): N/A
CANALE (EVENTUALE): N/A
ANNO DI CORSO: I, II
SEMESTRE: II
CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

È consigliata la conoscenza dei concetti di base delle comunicazioni digitali.

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivo dell'insegnamento è fornire agli studenti le nozioni specialistiche sulle tecniche avanzate per la trasmissione a distanza dell'informazione e sulle tecnologie per le reti di accesso (wireless e cablate) e di trasporto a larga banda, con particolare attenzione alle moderne reti radiomobili ed ai sistemi di broadcasting radiotelevisivo e di streaming multimediale. L'insegnamento si propone altresì di fornire agli studenti le nozioni specialistiche per l'implementazione di schemi base di ricetrasmisione radio su piattaforma Software-Defined Radio (SDR) programmabile.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere le principali tecnologie per la trasmissione a distanza dell'informazione e la loro applicazione nelle moderne reti cablate e wireless a larga banda. Lo studente deve inoltre dimostrare di conoscere l'approccio Software-Defined Radio (SDR) per la realizzazione di schemi di ricetrasmisione radio su dispositivi programmabili.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve essere in grado di dimensionare un sistema di trasmissione sia cablato che radio. Lo studente deve dimostrare di saper implementare in un ambiente software per il Software-Defined Radio i principali schemi di ricetrasmissione radio.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Introduzione ai sistemi ed ai servizi di telecomunicazioni. Classificazione e funzionalità delle reti di telecomunicazioni. Tecniche di livello fisico per le comunicazioni a larga banda. Tecniche di accesso. Reti di accesso a larga banda in rame (xDSL ed evoluzioni) e fibra (FTTx, PON ed evoluzioni). Reti di accesso wireless a larga banda (4G/5G ed evoluzioni). Integrazione delle reti di accesso nelle moderne reti di trasporto. Sistemi di broadcasting radiotelevisivo e di streaming multimediale. Introduzione al Software-Defined Radio (SDR) ed attività di laboratorio.

MATERIALE DIDATTICO

A. Pattavina, *Reti di Telecomunicazioni*, 2nd ed., McGraw-Hill, 2007

R. Ramaswami, K.N. Sivarajan, G.H. Sasaki, *Optical Networks - A Practical Perspective*, 3rd ed., Morgan Kaufmann, 2009

A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005

M. Sauter, *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G*, 3rd ed., Wiley, 2017

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa l'85% delle ore totali; b) laboratorio SDR per circa il 15% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a. Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"SISTEMI RADAR"

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I-II

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Nessuno

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivi dell'insegnamento sono fornire i concetti specialistici per il dimensionamento e l'analisi di sistemi radar in diversi contesti operativi, corredati da elementi dettagliati per modellare la fenomenologia del canale, dell'interferenza e del bersaglio radar. Ulteriore scopo è introdurre le principali tecniche di elaborazione del segnale radar sia nel dominio del tempo che in quello Doppler.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere le principali tipologie, configurazioni e modalità operative dei sistemi radar; deve essere in grado di applicare correttamente l'equazione radar per specifiche funzioni del sistema (quali ad esempio la ricerca e l'inseguimento). Deve inoltre sapere caratterizzare le prestazioni del radar dal punto di vista della probabilità di falso allarme e corretta rivelazione in presenza di diverse tipologie di bersagli (fluttuanti e non) e per differenti logiche di integrazione dei ritorni (ad esempio integrazione coerente e non). Deve comprendere le principali tecniche di elaborazione del segnale radar per la reiezione del clutter (sia nel dominio del tempo che in quello Doppler), per il controllo dei falsi allarmi e per la stima dei parametri del bersaglio.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper dimensionare i principali parametri del trasmettitore e del ricevitore di un sistema radar in diversi contesti operativi utilizzando modelli adeguati alla loro descrizione e ottimizzazione.

Deve inoltre palesare capacità di caratterizzare le diverse funzionalità e modalità del radar. Deve essere in grado di selezionare gli schemi più opportuni per l'elaborazione del segnale radar con enfasi al filtraggio del clutter, alla rivelazione/stima dei parametri del bersaglio e al controllo dei falsi allarmi.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Principi di funzionamento del radar ad impulsi e ad onda continua. Principali parametri, funzioni e applicazioni

del radar. L'equazione radar e sue diverse forme. I processi di ricerca e inseguimento radar. Effetti atmosferici e loro correzione. Caratterizzazione del clutter. Caratterizzazione dei bersagli radar. Acquisizione e digitalizzazione del segnale radar. Rivelazione di bersagli e calcolo della probabilità di falso allarme e corretta rivelazione. Tecniche per il controllo dei falsi allarmi. Elaborazione Doppler. Segnali e codici radar. Tecniche per la stima dei parametri e l'inseguimento di bersagli.

MATERIALE DIDATTICO

Libri di testo:

M. A. Richards, J. A. Scheer, and W. A. Holmes: "Principles of Modern Radar: Basic Principles", Scitech, 2010.

M. Skolnik: "Radar Handbook", Third Edition, Mc Graw Hill, 2008.

G. Stimson: "Introduction to Airborne Radar", Third Edition, IET, 2014.

Dispense:

"Slide del corso", distribuite annualmente.

Approfondimenti:

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

La didattica è erogata per il 100% con lezioni frontali, che includono sia teoria che esercitazioni al calcolatore.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
Altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"TECNOLOGIE MULTIPORTANTE PER LE COMUNICAZIONI "

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I, II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessun insegnamento

EVENTUALI PREREQUISITI

Nessun insegnamento

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivo dell'insegnamento è quello di introdurre il tema della trasmissione dell'informazione tra due punti nella eventualità in cui il canale di forme d'onda sia distorcente, o anche solo non spazialmente separato da trasmettitori adiacenti, e quindi risulti opportuno ricorrere ad un approccio multiportante. L'insegnamento si propone di fornire agli studenti nozioni specialistiche sull'approccio multiportante sia nella versione OFDM correntemente diffusa sia nella versione che ricorre a banchi di filtri, particolarmente promettente come soluzione dei futuri standard di rete, e sui meccanismi di sincronizzazione che costituiscono il nucleo della complessità di elaborazione dei ricetrasmittitori multiportante.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere e saper comprendere le problematiche relative alle motivazioni insite nel ricorso ad una soluzione standard per i sistemi multiportante, ai vantaggi di una soluzione multiportante a banchi di filtri rispetto alla soluzione standard, e ai meccanismi di sincronizzazione per i sistemi multiportante. Deve dimostrare di sapere elaborare argomentazioni concernenti i nessi tra distorsione introdotta dal canale di forme d'onda e costruzione del segnale da trasmettere in modalità multiportante, ricordare il suo legame con la multiplazione a divisione di frequenza e con le modalità in cui vengono svolte le funzioni di sincronizzazione, illustrare il quadro complessivo dei vantaggi e degli svantaggi connessi alle varie scelte architetture che definiscono un ricetrasmittitore multiportante.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di essere in grado di risolvere problemi concernenti il confronto dei vantaggi e degli svantaggi connessi alla scelta di una soluzione multiportante rispetto ad una soluzione alternativa, nonché alle diverse possibili alternative disponibili all'interno dei sistemi multiportante, e di saper condurre la progettazione di massima per la definizione delle soluzioni di connessione legate alla trasformazione digitale delle diverse tipologie di oggetti reali.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Richiami sulla segnalazione digitale su canale AWGN e a banda limitata

Descrizione di un sistema multiportante standard e dei suoi vantaggi rispetto alle alternative

Descrizione dei meccanismi fondamentali di sincronizzazione in un sistema multiportante standard

Descrizione di un sistema multiportante a banco di filtri, delle sue diverse versioni e delle diverse strutture di elaborazione che lo costruiscono

Descrizione dei meccanismi fondamentali di sincronizzazione in un sistema multiportante a banco di filtri

Descrizione dei vantaggi di un sistema multiportante a banco di filtri in confronto con uno standard

MATERIALE DIDATTICO

Dispense del Corso redatte dai Proff. Tanda e Mattera e rese disponibili online agli studenti del corso

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il corso è costituito da lezioni per 72 ore complessive di cui (circa) 48 ore sono dedicate alla definizione degli

argomenti teorici e (circa) 24 ore sono dedicate ad esercitazioni che – ove opportuno - si avvalgono di software specialistico e si propongono di approfondire la comprensione degli argomenti teorici.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
Altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"TEORIA DELL'INFORMAZIONE"

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I/II

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

EVENTUALI PREREQUISITI

Elementi di teoria della probabilità.

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso, destinato agli studenti di laurea magistrale che abbiano acquisito nel precedente triennio gli elementi di base delle discipline dell'informazione, ha per obiettivo principale l'inquadramento sistematico di concetti quali definizione e misura dell'informazione, compressione dati (codifica di sorgente), compressione con perdite (teorema rate-distortion e quantizzazione vettoriale), trasmissione affidabile dell'informazione su canali rumorosi (codifica di canale). Lo studente acquisirà quindi nozioni specialistiche sull'esistenza di limiti fondamentali sia sul tasso di compressione che su quello di trasmissione dell'informazione.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente dovrà essere in grado di comprendere le funzioni delle varie parti costitutive dei sistemi di elaborazione, immagazzinamento e trasferimento dell'informazione, nonché i principi che ne ispirano il progetto. Inoltre, lo studente dovrà essere in grado di "rileggere" alcune nozioni acquisite nell'ambito del triennio di base alla luce dei principi generali della Teoria dell'Informazione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente dovrà non solo essere in grado di applicare concretamente i concetti forniti durante il corso al progetto di specifiche parti costitutive dei sistemi – per esempio, codificatori di sorgente e/o di canale, quantizzatori, ecc. – ma anche di riconoscerne l'applicabilità a discipline apparentemente lontane (quali complessità, computabilità, ecc.).

PROGRAMMA-SYLLABUS

Concetti fondamentali. Informazione e sua misura: l'entropia e le sue proprietà. Entropia congiunta e condizionale. Divergenza e mutua informazione. Proprietà delle principali grandezze informazionali.

Codifica dell'alfabeto di sorgente. Introduzione alla codifica di sorgente. Codici non singolari, univocamente decifrabili e a prefisso. Codici di Huffman, di Shannon, di Shannon-Fano-Elias. Limiti informazionali alla lunghezza media dei codici di sorgente. Codifica a blocchi. Caratterizzazione delle sorgenti: il tasso entropico e le sue interpretazioni. Concetto di tipicità e sue implicazioni nella compressione dati. Codifica aritmetica. Codifica di Lempel-Ziv.

Capacità di canale. Concetti fondamentali: canali di comunicazione, tasso di trasmissione, tasso di codifica. Capacità di canale: concetti generali e casi notevoli. Teorema della codifica di canale. Esempi di codici di canale: codifica binaria lineare a blocchi e suoi limiti prestazionali. Separabilità della codifica di sorgente e della codifica di canale. Estensione al caso continuo delle principali grandezze informazionali. Canali continui e loro capacità. Il canale Gaussiano additivo. Canali Gaussiani in parallelo. Canali Gaussiani con memoria. Cenni ai canali con feedback.

Compressione con perdite. Introduzione al concetto di compressione con perdite: il tasso (Rate) e la Distorsione (Distortion). Il concetto di Rate-Distortion function. Calcolo della funzione R-D per alcune sorgenti notevoli e sue interpretazioni. Codifica (con perdite) a blocchi e sua interpretazione. Teorema Rate-Distortion. Applicazioni: quantizzazione scalare e quantizzazione vettoriale. Progetto di quantizzatori vettoriali. Esempi.

Cenni ai canali MIMO. Cenni ai canali con fading: il canale wireless. Diversità in ricezione e sue proprietà. Canali Multiple-Input Multiple-Output (MIMO). Cenni al calcolo della capacità di canali MIMO. Cenni alla codifica spazio-temporale.

MATERIALE DIDATTICO

Materiale didattico (slides, note del docente) è disponibile sul canale teams “Teoria dell’Informazione – Anno Accademico 2021-2022”.

Il testo di riferimento è T. Cover, J. Thomas, “Elements of Information Theory”.

SI VEDA SITO WEB DEL DOCENTE DELLA MATERIA

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali, di cui circa 2/3 (48 ore) dedicate alla teoria e circa 1/3 (24 ore) ad esercitazioni numeriche, anche con l’ausilio di MATLAB.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

La valutazione avverrà sulla base di un colloquio orale teso a verificare che lo studente abbia maturato i concetti basilari impartiti durante il corso.

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

INTRODUZIONE AI CIRCUITI QUANTISTICI SSD IIET-01/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: I/II

SEMESTRE: I

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

OBIETTIVI FORMATIVI

I qubit sono gli elementi fondamentali dei circuiti quantistici. A differenza del bit classico che può assumere solo due stati, il qubit può trovarsi in una sovrapposizione coerente di due stati, una proprietà fondamentale della meccanica quantistica. I qubit possono essere realizzati utilizzando gli spin di atomi o molecole, o anche la polarizzazione dei fotoni. La tecnologia oggi più promettente si basa su circuiti elettrici a superconduttori con elementi lineari e giunzioni Josephson (IBM, D-Wave Systems, Rigetti, Google, Quantum Circuits - Yale, ...). L'obiettivo di questo corso è introdurre i circuiti elettrici quantistici a superconduttori.

In un superconduttore i super-elettroni si trovano nello stesso stato quantistico coerente, quindi un superconduttore può manifestare un comportamento quantistico a livello macroscopico. Gli esperimenti hanno ampiamente dimostrato che lo stato quantistico di circuiti elettrici a superconduttori basati sulla giunzione Josephson può essere efficacemente sia controllato, sia letto. In particolare, è possibile progettare circuiti elettrici a superconduttori che si comportano come atomi artificiali. A differenza degli atomi reali, questi atomi artificiali hanno dimensioni macroscopiche, e quindi sono caratterizzati da momenti di dipolo elettrico o magnetico di elevata intensità. Ciò facilita il loro accoppiamento con altri circuiti elettrici a parametri concentrati e distribuiti a superconduttori, e consente di realizzare architetture per l'elaborazione quantistica dell'informazione.

In questo corso partiamo dalle formulazioni lagrangiane e hamiltoniane dei circuiti elettrici classici, diamo il concetto di circuito elettrico quantistico a superconduttori e introduciamo progressivamente i qubit a superconduttori, le tecniche di controllo e di lettura.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Questo corso, a partire dal modello di circuiti a parametri concentrati e distribuiti governati dalla meccanica quantistica introduce nuovi paradigmi alla base dei computer quantistici basati sulle giunzioni Josephson.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Questo corso fornisce sia le conoscenze di base per la comprensione dei circuiti elettrici quantistici, sia gli strumenti per la loro analisi, progettazione e sviluppo.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- 1) Cosa sono i circuiti quantistici, i qubit e le porte logiche quantistiche. La sfera di Bloch.
- 2) **Circuiti elettrici classici:** circuiti ad elementi concentrati, circuiti ad elementi distribuiti, leggi di Kirchhoff, relazioni costitutive. Circuiti dissipativi e non dissipativi. Formulazioni lagrangiane e hamiltoniane per circuiti non dissipativi, coppie di variabili elettriche coniugate, parentesi di Poisson. Circuiti con elementi dissipativi, modello di Caldeira – Leggett. Teorema di fluttuazione – dissipazione. Equazione di Langevin
- 3) **Circuiti Elettrici Quantistici Non Dissipativi:** Cenni di Meccanica Quantistica. Stato di un circuito elettrico quantistico non dissipativo: misure, dalle variabili elettriche agli operatori, vettore di stato quantistico, commutatori di cariche e flussi. Quantizzazione di un circuito elettrico. Schrödinger e Heisenberg Pictures. Circuiti LC lineari quantistici. Intreccio. Quantizzazione “Black Box” di circuiti lineari.
- 4) **Qubit superconduttori: giunzione Josephson.** Circuiti LC non lineari. Circuiti qubit di carica. Circuiti a qubit di flusso. Circuiti a qubit. di fase. “Box” a coppie di Cooper. trasmone. Qubit Entangled.
- 5) **Circuiti Elettrici Dissipativi Quantistici:** Teorema Dissipazione-fluttuazione quantistico. Fluttuazioni quantistiche nell'oscillatore LC smorzato. Modello di resistenza di Nyquist: linea di trasmissione semi-

infinita. Heisenberg - Equazione di Langevin. Operatori ambientali e di misura. Rumore e ambiente. Decoerenza, decadimento e sfasamento. Decoerenza indotta dal rumore nei circuiti Qubit. Uno sguardo alle equazioni principali stocastiche.

- 6) **Qubit - Accoppiamento a cavità:** Accoppiamento risonante e accoppiamento dispersivo. Amplificazione e feedback. Lettura dispersiva di un Qubit in una cavità. Controllo quantistico di Qubit in una cavità. Lettura dispersiva multi-qubit.
- 7) **Ingegneria dello stato quantistico e porte quantistiche:** porte a un qubit. Due porte qubit. L'algoritmo di ricerca di Grover, correzione degli errori (ancilla qubit), avanza verso i computer quantistici.
- 8) **Uno sguardo ai dispositivi quantistici ibridi:** circuiti superconduttori di spin. Punti quantici. Processore quantistico ibrido.

MATERIALE DIDATTICO

- [1] A. M. Zagoskin *Quantum Engineering: Theory and Design of Quantum Coherent Structures*, Cambridge University Press, 2011.
- [2] U. Vool, M. Devoret, *Introduction to quantum electromagnetic circuits*, Special Issue on Quantum Technologies, International Journal of Circuit, Theory and Applications, 897-934, 2017.
- [3] G. Wendin, *Quantum information processing with superconducting circuits: a review*, Rep. Prog. Phys. 80 106001, 2017
- [4] X. Gao, A. F. Kockum, A. Miranowicz, Y. Liu, F. Nori, *Microwave photonics with superconducting quantum circuits*, Physics Reports 718–719, 1–102, 2017.
- [5] P. Krantz, M. Kjaergaard, F. Yan, T. P. Orlando, S. Gustavsson, and W. D. Oliver, *A quantum engineer's guide to superconducting qubits*, Appl. Phys. Rev. 6, 021318 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5089550>
- [6] A. Blais, A. L. Grimsmo, S. M. Girvin, A. Wallraff, *Circuit quantum electrodynamics*, Rev. Mod. Phys. 93, 025005 (2021)
- [7] Lecture Notes.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali (90%), Laboratorio 10%

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	x
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

RETI ELETTRICHE COMPLESSE E SIMULAZIONE CIRCUITALE

SSD IIET-01/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: II

SEMESTRE: II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI

Fondamenti di circuiti, Elettronica generale

OBIETTIVI FORMATIVI

Arricchire il bagaglio metodologie e strumenti sia teorici che numerici per l'analisi dei circuiti, in vista dell'analisi di reti complesse; introdurre le principali fenomenologie non lineari e le dinamiche complesse, anche in relazione ad esempi applicativi; sviluppare la capacità di analisi qualitativa e numerica di circuiti e reti complesse integrando conoscenza dei modelli numerici e simulazione circuitale.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo fornisce agli studenti un ampliamento delle conoscenze sia teoriche che numeriche sui circuiti lineari e non lineari, rispetto ai corsi introduttivi. Lo studente verrà esposto e imparerà a selezionare le formulazioni analitiche e gli algoritmi numerici più adatti all'analisi di circuiti nelle diverse applicazioni. Inoltre, prenderà contatto con i principali concetti di dinamica non lineare dei circuiti, fino alle dinamiche caotiche e le reti complesse.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente dovrà mostrare di essere in grado di analizzare problemi circuitali complessi, con strumenti numerici sia di tipo "general purpose" che costruiti ad hoc, selezionando le formulazioni e gli algoritmi in relazione alle proprietà delle specifiche applicazioni.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Rivisitazione del modello circuitale, elementi circuitali e proprietà, soluzione analitica e numerica. Teoria dei grafi, matrici topologiche e loro relazioni, principali formulazioni delle equazioni circuitali; equazioni di stato e circuito resistivo associato. Circuiti non lineari, unicità della soluzione ed analisi qualitativa. Biforcazioni e caos nei circuiti, reti complesse: sincronizzazione e clustering. Macro-modeling circuitale, identificazione e riduzione d'ordine, realizzazione e fondamenti sulla sintesi.

Algoritmi per la soluzione numerica delle equazioni circuitali in circuiti a-dinamici e dinamici (lineari e non lineari). Classificazione e valutazione dell'errore numerico e delle proprietà degli algoritmi. Strutture dati, algoritmi e parametri di SPICE.

Laboratorio numerico con analisi SPICE e MATLAB di circuiti dinamici non lineari, identificazione di modelli ridotti, ottimizzazione, sincronizzazione e controllo, con esempi di applicazione a complex networks e power converters.

MATERIALE DIDATTICO

- [1] M. Hasler, J. Neiryneck, Non Linear Circuits, Artech House, 1986, ISBN# 0-89006-208-0.
- [2] L.O. Chua, P.M. Lin, Computer aided analysis of electronic circuits: algorithms & computational techniques, Prentice Hall, 1975, ISBN# 0-13-165415-2.
- [3] A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri, Matematica Numerica Springer 2008, ISBN# 978-88-470-0782-2.
- [4] A. Vladimirescu, Spice, Mc Graw-Hill, 1995.
- [5] Dispense ufficiali del corso, slides ed altro materiale disponibili all'indirizzo www.elettrotecnica.unina.it

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali (70% circa) ed esercitazioni frontali (30% circa)

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"ARCHITETTURA DEI SISTEMI INTEGRATI"

SSD IINF-01/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuna propedeuticità.

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenza di base dei circuiti digitali, delle principali caratteristiche dei dispositivi MOS e delle logiche CMOS.

OBIETTIVI FORMATIVI

Nell'ambito del corso viene studiato il flusso di progetto dei circuiti integrati digitali, a partire dalla descrizione mediante linguaggi per la descrizione dell'hardware fino all'implementazione fisica. L'insegnamento si pone l'obiettivo di fornire agli studenti le metodologie e le conoscenze utili a disegnare i moderni microcircuiti ad alta scala di integrazione, valutarne le caratteristiche, ottimizzarne le prestazioni e definirne le procedure di verifica.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti le conoscenze e gli strumenti metodologici necessari a completare il flusso di sviluppo di un sistema digitale integrato. In particolare, lo studente sarà edotto sugli standard utilizzati per realizzare descrizioni sintetizzabili utilizzando linguaggi per la descrizione dell'hardware, sulle tecniche di valutazione ed ottimizzazione dei ritardi e della dissipazione di potenza, sulle varie architetture per implementazione di circuiti aritmetici e sulle principali metodologie di testing. Tali strumenti consentiranno agli studenti di comprendere le principali relazioni che sussistono tra l'implementazione fisica dei sistemi integrati e le loro caratteristiche elettriche.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Al termine del processo di apprendimento lo studente è in grado di progettare ed analizzare a livello architeturale, circuitale e fisico circuiti e sistemi digitali ad alta scala di integrazione. Egli disporrà degli strumenti metodologici e operativi necessari a descrivere mediante linguaggi HDL un sistema digitale, ad approntarne il test-bench ed a realizzarne la simulazione. Lo studente sarà inoltre in grado di definire gli opportuni vincoli necessari ad effettuare la fase di sintesi, di utilizzare programmi di sintesi automatica e di valutare i risultati forniti dal sintetizzatore. Il percorso formativo è orientato a trasmettere le capacità e gli strumenti metodologici e operativi necessari ad applicare concretamente le varie tecniche volte ad ottimizzare le prestazioni dei sistemi digitali, in termini di velocità, area occupata e consumo energetico.

Autonomia di giudizio, Abilità comunicative, Capacità di apprendimento

Al termine del corso lo studente deve essere in grado di sapere scegliere in maniera autonoma le possibili metodologie e tecniche da utilizzare nelle varie fasi del ciclo di progettazione di un sistema digitale ad alta scala di integrazione; dovrà inoltre avere la capacità di valutare i risultati derivanti dall'applicazione delle varie tecniche di ottimizzazione ed essere in grado di confrontare le prestazioni di diverse architetture.

Gli studenti saranno in grado di approfondire autonomamente argomenti trattati. La metodologia di verifica ed il confronto con il docente tendono inoltre a sviluppare le abilità comunicative degli studenti che devono dimostrare di saper impostare una relazione scientifica utilizzando terminologia e linguaggio appropriato.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Classificazione dei sistemi integrati: full-custom, basati su celle standard e programmabili. Metodologie di progetto di sistemi integrati. Tecniche automatiche di sintesi e di piazzamento e collegamento di celle standard. Caratteristiche dei transistori MOS di ultima generazione. Tecniche di simulazione switch-level. Valutazione semplificata dei ritardi delle porte logiche. Analisi statica dei ritardi. Grafi dei ritardi. Caratterizzazione dei ritardi delle celle standard. Livelli di interconnessione e parametri parassiti. Valutazione dei ritardi introdotti dalle interconnessioni mediante la tecnica di Elmore. Ripetitori. Effetti dello scaling tecnologico sui ritardi delle interconnessioni. Cross-talk. Distribuzione delle linee di alimentazione. Progetto e temporizzazione di sistemi sequenziali. Tempi caratteristici dei registri. Registri avanzati. Tecniche di pipelining. Effetti delle non idealità del clock (skew, jitter) sulla temporizzazione dei sistemi sequenziali. Generazione e

distribuzione del clock. Anelli ad aggancio di fase (PLL) e ad aggancio di ritardo (DLL). Valutazione della dissipazione di potenza nei sistemi VLSI. Fonti di dissipazione di potenza statica e dinamica. Tecniche per la riduzione della dissipazione di potenza a livello tecnologico, circuitale ed architetturale. Il linguaggio VHDL per la descrizione e la sintesi di sistemi integrati. Statements sequenziali e concorrenti. La simulazione event-driven. Librerie standard per la sintesi di sistemi digitali. Descrizione e sintesi di circuiti aritmetici. Test-bench. Operazioni su file di testo. Testing dei sistemi integrati CMOS. Modelli di guasto. Algoritmi per il calcolo dei vettori di test. Tecniche di self-test. Circuiti aritmetici. Addizionatori a selezione del ritardo, carry-skip, parallel-prefix. Addizionatori multi-operando. Moltiplicatori paralleli. Moltiplicatori veloci (Wallace, Dadda).

MATERIALE DIDATTICO

- Weste, Harris, "CMOS VLSI Design – circuit and systems perspective", 4th edition, Pearson – Addison Wesley, 2011.
- Appunti delle lezioni.
- Testi delle esercitazioni.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il corso prevede lezioni frontali, esercitazioni e, compatibilmente con gli aspetti organizzativi, esercitazioni di laboratorio.

Per lo svolgimento delle esercitazioni gli studenti adottano programmi di sviluppo di sistemi integrati della Cadence, resi disponibili grazie alle "Cadence Low-Cost Classroom Teaching Licenses" acquisite mediante Europractice. Gli studenti inoltre utilizzano un simulatore vhdI (ghdl) ed un visualizzatore di forme d'onda (gtkwave) open-source.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	✓
discussione di elaborato progettuale	
altro (discussione esercitazioni)	✓

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"CIRCUITI PER DSP"

SSD IINF-01/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): II

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuna propedeuticità.

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenza di base del funzionamento dei circuiti digitali e del linguaggio C.

OBIETTIVI FORMATIVI

L'insegnamento si pone l'obiettivo di fornire agli studenti le nozioni avanzate e di alto livello relative alla implementazione degli algoritmi di elaborazione digitale dei segnali e, inoltre, di acquisire le conoscenze, sia di base sia avanzate, relative alle architetture dei circuiti DSP disponibili commercialmente, delle problematiche, sia teoriche che pratiche, relative alla implementazione ottimale, in tempo reale, su DSP, dei principali algoritmi di elaborazione digitale dei segnali e dell'ambiente di sviluppo per la loro programmazione.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Al termine del processo di apprendimento lo studente è edotto sulle principali tecniche di elaborazione dei dati in virgola fissa e mobile, sugli strumenti di analisi degli errori di rappresentazione e delle problematiche di overflow in un sistema lineare realizzato in aritmetica a virgola fissa, sulle principali tecniche di prevenzione/gestione dell'overflow, sulle problematiche teoriche relative alla descrizione in linguaggio C di algoritmi di elaborazione digitale dei segnali, sulle caratteristiche architettoniche di minima che identificano un circuito DSP (Digital Signal Processor), sulle problematiche relative alla pipeline nei DSP, sia nel caso di pipeline protetta che nel caso di pipeline non-protetta, sulle caratteristiche dei DSP ad elevato parallelismo di elaborazione -in particolar modo basati su architettura di tipo Very Long Instruction Word (VLIW)-, alle forme di parallelismo al livello dell'istruzione set del DSP -istruzioni Single-Instruction-Multiple-Data-, sulle tecniche di ottimizzazione del codice per le architettura VLIW -in particolar modo utilizzando tecniche di Loop Unrolling e Software Pipelining-, sulle caratteristiche di base e avanzate dei sistemi di interruzione e DMA (Direct-Memory-Access) nei DSP, sulle caratteristiche delle interfacce di comunicazione del DSP -in particolar modo quelle di tipo seriale sincrono-, sulle problematiche relative al realizzazione su un DSP di sistemi di elaborazione in tempo reale -in particolar modo utilizzando l'elaborazione in streaming oppure a blocchi-.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Al termine del processo di apprendimento lo studente è in grado di progettare, autonomamente, l'implementazione in aritmetica a virgola fissa e mobile, di un algoritmo di elaborazione dei segnali tenendo conto sia degli errori di rappresentazione che delle problematiche connesse all'overflow e di determinare l'approccio di prevenzione/gestione dell'overflow che meglio si adatta alla specifica applicazione.

Lo studente acquisisce inoltre la capacità di descrivere in linguaggio C un algoritmo di elaborazione digitale dei segnali con particolare riferimento alle problematiche relative alla efficiente implementazione su DSP sia a virgola fissa che a virgola mobile. Lo studente padroneggia inoltre le tecniche di ottimizzazione del codice, con particolare riferimento alle architetture VLIW ed è in grado di gestire nel modo migliore possibile, in relazione alla specifica applicazione, il trade-off tra tempo di calcolo e dimensione del codice applicando le tecniche di Loop Unrolling e Software Pipelining.

In fine, lo studente padroneggia gli approcci per l'elaborazione in tempo reale di un algoritmo di elaborazione digitale su un DSP, e, in relazione alle caratteristiche della specifica applicazione, può risolvere nel modo migliore possibile il trade-off tra massima frequenza di elaborazione e latenza adottando approcci di elaborazione in streaming oppure a blocchi. Lo studente inoltre padroneggia le problematiche inerenti l'impiego delle unità DMA sia a supporto dell'elaborazione, sia a servizio delle interfacce del DSP nella elaborazione a blocchi.

Autonomia di giudizio, Abilità comunicative, Capacità di apprendimento

In relazione a tutte le capacità descritte in precedenza, lo studente acquisisce inoltre capacità autonoma di giudizio essendo, questa, tra l'altro, nel particolare contesto, un presupposto imprescindibile dell'attività creativa di tipo progettuale che rientra nelle capacità di applicare la conoscenza che sono sviluppate.

Durante l'insegnamento gli studenti vengono inoltre stimolati nella acquisizione degli strumenti che consentono l'approfondimento in modo autonomo degli argomenti trattati, mentre le metodologie di verifica dell'apprendimento da parte degli studenti tendono a sviluppare anche le loro abilità comunicativa.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Introduzione: Circuiti per l'Elaborazione Digitale: ASIC, FPGA, DSP. Elaborazioni Real-Time.

Problematiche numeriche nella rappresentazione dei segnali: Richiami sulle rappresentazione Fixed-Point e Floating-Point; Precisione ed Errori di Quantizzazione; Errori di Quantizzazione al livello di Sistema; Overflow e tecniche di prevenzione: Variazione della Rappresentazione, Scaling, Scaling per segnali a banda stretta, Scaling Statistico, Aritmetica Saturata, Bit di Guardia; Applicazione delle tecniche di prevenzione dell'Overflow ad un Filtro FIR. Descrizione degli algoritmi di DSP in linguaggio C: rappresentazione Fixed-Point Generalizzata, Regole di Promozione del Tipo, Esempio (filtro FIR con tecnica dei bit di Guardia).

Architetture di base dei circuiti DSP: Datapath; Architettura Harvard ed Harvard modificata; Memoria nei DSP: Banchi Separati, Banchi in Interweaving, Memorie Dual-ported, Allineamento dei Dati ed Accessi Multipli, Gerarchie delle memorie, Caching coerenza e predicibilità; Repeat Buffer; Indirizzamenti per DSP ed Unità di generazione degli indirizzi: indirizzamento Circolare e Bit-Reversal; Tecniche di Zero-Overhead-Looping; Semplici periferiche nei DSP: Timers/PWM generators; Esempi di DSP della Texas Instruments: architetture C2xx, C54xx e C55xx.

Architetture avanzate dei DSP: Trade-off tra Ortogonalità e Dimensione del Codice; Pipelining nei DSP: Pipeline non-Protetta o Visibile, Pipeline Protetta o Trasparente, Hazards Strutturali, Hazard sui Dati e Dipendenze, Hazard di Controllo, Delayed-Branch; Scheduling Statico e Dinamico delle Istruzioni; Architetture Superscalari (cenni); Architetture Very-Long-Instruction-Word (VLIW); Pipeline non-Protetta ed Interruzioni (trade-off tra interrombibilità del codice e tempo di calcolo); Istruzioni ed Aritmetica Single-Instruction-Multiple-Data (SIMD); DSP VLIW della Texas Instruments: architetture C64xx, C67xx, C66xx. Cenni ai principali DSP di Analog Devices (Blackfin, SigmaDSP, SHARC e TigerSHARC) e Freescale (Symphony, StarCore SC3400 e SC3850). DSP con Multi-threading Hardware: architettura Hexagon di Qualcomm. SoC basati su DSP di Texas Instruments: DaVinci Digital Media Processor, OMAP, Keystone e Keystone II.

Architettura dei DSP Texas Instruments C64xx e C67xx: Architettura VelociTI; Set Istruzioni; Architettura delle Memoria e Caching su due livelli; Esecuzione Condizionale; Indirizzamenti con offset; Indirizzamenti Circolari e Registro AMR; Pipeline del DSP: Delay-Slots e Latenza delle istruzioni; Istruzioni SIMD.

Sviluppo del Codice ed Ottimizzazione per DSP VLIW: Sviluppo in Assembly: Grafi delle Dipendenze, Parallelizzazione delle Istruzioni, Eliminazione dei NOP, Loop Unrolling; Software Pipelining: Minimum-safe-trip-count, Resource-Bound, Loop-Carried-Resource-Bound, Esecuzione Speculativa, Problemi di Live-too-Long, Utilizzo congiunto di Loop Unrolling e Software Pipelining; Sviluppo del codice in Linear-Assembly; Sviluppo del Codice in C: direttive per il Software Pipelining e l'Unrolling, Aliasing dei Puntatori, Direttive per l'Allocazione in Memoria, Livelli di Ottimizzazione, Funzioni Static, Interrompibilità del Codice, Software Pipelined Loop Buffer (SPLOOP); Linker, Variabili Globali e Static, Allocazione delle variabili Near e Far, Start-up del DSP.

Interrupt e DMA nei DSP Texas Instruments C6x: Interrupt: funzionalità di base, registri per la gestione degli interrupt, funzionamento dettagliato in Hardware, scrittura della Interrupt-Service-Routine (ISR), tempi caratteristici; DMA: funzionalità di base, parametri e tipologie di trasferimento, sincronizzazione, Quick-DMA, generazione di interrupt di completamento, esempi.

Implementazione Real-Time degli Algoritmi di DSP: Interfacce Seriali Sincrone ed interfaccia McBSP dei DSP Texas C6x; Gestione delle comunicazione in Polling, Interrupt, DMA; Elaborazioni in Streaming di tipo

Interrompibile e non-Interrompibile, Controllo di Flusso nelle elaborazioni in Ricezione/Trasmissione; Sistemi Operativi Real-Time e Elaborazioni con Prelazione; Elaborazioni a Blocchi: Ping-Pong Buffering; Tecniche di Buffering per gli Algoritmi con Memoria; Debugging off-line e real-time nei DSP, Tecniche di In-System Debugging tramite interfaccia JTAG.

Esercitazioni: Le esercitazioni sfruttano l'ambiente di sviluppo Code Composer Studio di Texas Instruments e le schede per la prototipizzazione rapida su DSP DSK-C6713.

Implementazioni di Filtri FIR: Calcolo dei Coefficienti, Progetto Numerico e Problematiche di Overflow, Ottimizzazione del Codice con esempi di Unrolling, Software Pipelining, Buffering dei dati; Prove sperimentali con I/O in Real-time dal Codec audio presente sulla board DSK-C6713: filtro FIR, equalizzatore audio a 5 bande, equalizzatore audio a 5 bande mediante Sistema Operativo real-time, equalizzatore audio a 9 bande mediante Sistema Operativo real-time.

MATERIALE DIDATTICO

- John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis, "Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications", 4° edition, Prentice Hall 2007
- Sen M. Kuo, Woon-Seng Gan, "Digital Signal Processors: Architectures, Implementations, and Applications", Prentice Hall 2005
- Appunti delle lezioni
- Testi delle esercitazioni

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lo svolgimento dell'insegnamento prevede lezioni frontali, esercitazioni in aula e, compatibilmente con gli aspetti organizzativi, esercitazioni in laboratorio.

Per lo svolgimento delle esercitazioni gli studenti adottano l'ambiente di sviluppo Code Composer Studio della Texas Instruments. Le esercitazioni in laboratorio, oltre a Code Composer Studio, prevedono l'impiego di board per il prototyping rapido (DSK6713 della Texas Instruments) e la strumentazione di base di un laboratorio di elettronica (oscilloscopio, generatore di segnali).

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	✓
discussione di elaborato progettuale	
altro (discussione esercitazioni)	✓

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

" FPGA PER L'ELABORAZIONE DEI SEGNALI "

SSD IINF-01/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuna propedeuticità.

EVENTUALI PREREQUISITI

Il corso richiede conoscenze di base di circuiti digitali.

OBIETTIVI FORMATIVI

L'obiettivo del corso è fornire agli studenti le competenze e le conoscenze necessarie alla progettazione, la validazione e la realizzazione di sistemi di elaborazione dei segnali basati su FPGA. Le FPGA sono circuiti integrati utilizzati per ottenere sistemi di elaborazione veloci, economici e di semplice realizzazione. Inoltre, le FPGA permettono di implementare sistemi di elaborazione di elevata complessità utilizzando un singolo circuito integrato e sono quindi largamente utilizzate in diversi campi di applicazione come l'aerospazio, l'automotive, l'industria, etc.

La progettazione di un FPGA richiede l'utilizzo di diversi strumenti che permettono di trasformare la descrizione funzionale dell'algoritmo di elaborazione in una definizione di basso livello dell'architettura del circuito. Lo strumento principale è il linguaggio per la descrizione dell'hardware. Altri strumenti permettono di verificare la corretta funzionalità del circuito, di stimare la velocità e l'assorbimento di energia del sistema di elaborazione e di implementarlo su board di sviluppo.

Il corso fornisce competenze approfondite sull'utilizzo del linguaggio Verilog e sugli strumenti di sviluppo Intel-Altera. Fornisce inoltre metodologie per la progettazione ottimizzata, riutilizzabile e affidabile di circuiti basati su FPGA. Infine, durante il corso, gli studenti potranno testare sperimentalmente i loro progetti utilizzando schede di sviluppo di ultima generazione.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Alla fine del corso gli studenti dovranno dimostrare di possedere le seguenti competenze:

- conoscenza approfondita delle architetture FPGA
- conoscenza approfondita del linguaggio Verilog
- conoscenza approfondita del flusso di progetto utilizzato per la progettazione e la validazione delle FPGA
- conoscenza della descrizione Verilog dei più tipici circuiti digitali elementari

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Gli studenti devono dimostrare di essere in grado di progettare semplici sistemi basati su FPGA (filtri, processori FFT, etc.) utilizzando il linguaggio Verilog

Gli studenti dovranno dimostrare di essere in grado di valutare le prestazioni dei circuiti utilizzando gli strumenti di sviluppo di Intel-Altera

Gli studenti dovranno dimostrare di essere in grado di sintetizzare, effettuare il Place & Route ed implementare sulla scheda di sviluppo i progetti realizzati

PROGRAMMA-SYLLABUS

Caratteristiche ed applicazioni delle FPGA. Parallelismo e pipelining nei circuiti digitali. Linguaggio Verilog: blocchi combinatori, blocchi aritmetici, blocchi sequenziali, elaborazione dataflow e procedurale dei segnali, testbench, system tasks, parametri, costrutti non-sintetizzabili, macchine a stati finiti. Esempi ed esercizi Verilog. Flusso di progetto: sintesi, mapping, placing & routing, analisi statica del timing del circuito, stima della potenza dissipata. Architettura interna di una FPGA: tecnologie volatili e non-volatili, tecnologie basate su fusibile o anti-fusibile, tecnologie basate su SRAM e Flash, celle logiche realizzate a multiplexer ed a look-up table, buffer programmabili per l'I/O, memoria on-chip, logica del carry e circuiti aritmetici ottimizzati, logica del clock. Altre architetture di circuiti programmabili. Scaling tecnologico e standard di alimentazione. Connessioni ai bus. Signal integrity. Packaging.

MATERIALE DIDATTICO

Il libro di testo è:

Napoli, E. "Progetto di sistemi elettronici digitali basati su dispositivi FPGA", Società Editrice Esculapio. Slides, guide per le esercitazioni ed ulteriore materiale didattico è disponibile sul sito del docente e sul team del corso.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni orali (50 ore) e sessioni di laboratorio (30 ore). Le lezioni vengono registrate e sono rese disponibili per gli studenti.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"TUTELA DELLA SICUREZZA E RISERVATEZZA DELL'INFORMAZIONE"

SSD GIUR-14/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): II

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso mira a fornire le principali conoscenze teoriche e pratiche in relazione al catalogo di fattispecie incriminatrici (tanto codicistiche, quanto versate nella legislazione complementare) poste a presidio della integrità e della riservatezza dei dati, anche personali, in speciale modo quando contenuti all'interno di un sistema informatico. Verrà pertanto analizzata la disciplina prevista dal D.lgs. 196/2003 per come modificata dal Regolamento cd. GDPR, unitamente alle figure criminose concernenti l'indebita intrusione nelle (o manipolazione delle) informazioni altrui, tanto nel momento statico della loro conservazione (ad es. accesso abusivo a sistema informatico, danneggiamento di sistema informatico), quanto nella fase dinamica della relativa comunicazione (abusiva intercettazione di comunicazione). Ci si soffermerà inoltre sulla emersione della riservatezza come autonomo bene giuridico meritevole di tutela penale.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Ci si attende che lo studente risulti capace di conoscere e comprendere i fatti illeciti sussumibili nella fattispecie passate in rassegna, anche grazie al confronto con la giurisprudenza esistente in materia. Si auspica altresì una adeguata capacità critica in relazione alle scelte legislative circa le modalità di tutela della riservatezza e dei dati personali, il tutto attraverso una idonea conoscenza dei principi generali e delle categorie del diritto penale.

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere gli istituti del diritto penale e comprendere le problematiche relative alle fattispecie incriminatrici che verranno studiate. Deve dimostrare di sapere individuare l'interesse protetto da ciascuna e comprendere la ragioni delle scelte e delle tecniche di incriminazione. Il percorso formativo intende fornire agli studenti le conoscenze e gli strumenti metodologici di base necessari per riconoscere il carattere illecito e le conseguenze sanzionatorie di determinate condotte, anche connesse alla loro futura esperienza professionale. Si forniranno altresì gli strumenti per distinguere l'intervento sanzionatorio di matrice amministrativa da quello propriamente penale, specie nel settore del trattamento dei dati personali.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di essere in grado di procedere alla qualificazione delle condotte concernenti il trattamento di dati personali ovvero la conservazione e la diffusione delle informazioni attraverso strumenti informatici e telematici. Deve dimostrare di saper applicare il metodo della scienza penale anche nella comprensione delle decisioni delle Corti nazionali e sovranazionali su fatti illeciti che compromettono il diritto alla riservatezza e alla sicurezza delle informazioni. Ci si attende altresì un adeguato impiego del lessico giuridico e penalistico in particolare.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Principi generali del diritto penale; il reato ed i relativi elementi costitutivi; rapporto tra reato e illecito amministrativo.

La nozione di riservatezza e la riservatezza come bene giuridico meritevole di tutela penale.

La normativa italiana in materia di privacy; l'incidenza della normativa europea: il Regolamento cd. GDPR e la Direttiva. Le figure soggettive deputate alla protezione dei dati personali; l'Autorità Garante; gli illeciti amministrativi per violazione della disciplina in materia di trattamento dei dati.

Le figure di trattamento illecito di dati personali.

I reati informatici e telematici. La tutela del domicilio informatico; la tutela dell'integrità dei dati e dei sistemi; la tutela delle comunicazioni.

MATERIALE DIDATTICO

P. Troncone, La tutela penale della riservatezza e dei dati personali, Napoli, 2020;

F. Mantovani, Diritto penale, Parte speciale, I, I delitti contro la persona, Milano, 2019;

durante il corso saranno fornite agli studenti slides di approfondimento su argomenti specifici e saranno commentate sentenze sulle fattispecie oggetto di trattazione

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

La didattica verrà erogata mediante lezioni frontali. Si utilizzeranno a supporto slides in formato powerpoint.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"MISURE SUI SISTEMI DIGITALI AD ALTA VELOCITÀ "

SSD IMIS-1/B

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessun insegnamento propedeutico

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di metrologia generale e di elementi di trasmissione numerica.

OBIETTIVI FORMATIVI

Fornire all'allievo conoscenze specialistiche, in termini di metodologie, normativa nazionale ed internazionale e strumenti per misurazioni nel dominio della frequenza, finalizzate alla verifica della funzionalità e delle prestazioni di un sistema di comunicazione digitale wireless. Consentire all'allievo di acquisire competenze approfondite sulle caratteristiche tecniche e sull'uso del linguaggio grafico LabView, al fine di conferire autonomia nell'allestimento di stazioni automatiche di misura. Mettere in grado l'allievo di analizzare e misurare sperimentalmente le prestazioni dei più comuni sistemi di comunicazione digitale wireless impiegati nelle moderne reti di sensori e, più in generale, in ambito IoT – Internet of Things e IIoT – Industrial Internet of Things.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il corso fornisce agli studenti le conoscenze, i metodi e la strumentazione specialistica necessari per eseguire misurazioni spettrali, con approccio sia analogico sia numerico. Tali conoscenze e competenze possono consentire allo studente di cogliere le connessioni causali tra i fenomeni fisici nel mondo empirico relativi ai moderni sistemi di comunicazione digitale wireless e le proprietà delle grandezze fisiche ad essi associate nel mondo simbolico, unitamente alle principali caratteristiche che un adeguato metodo di misurazione nel dominio della frequenza, indirizzato a tali proprietà, deve presentare. Esse possono consentire anche di comprendere le implicazioni delle scelte di misura sugli esiti finali della misurazione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Il corso fornisce abilità e competenze necessarie ad applicare le conoscenze nella pratica, favorendo la capacità di utilizzare metodi e strumenti specialistici per definire, progettare e implementare adeguati approcci metrologici, indirizzati ad affrontare specifiche e alquanto complesse problematiche di misura relative alla verifica della funzionalità e delle prestazioni dei moderni sistemi di comunicazioni digitali wireless.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Misurazioni di interesse a livello fisico nei sistemi di comunicazione digitale wireless: dominio del tempo, della frequenza e della modulazione. Analisi spettrale analogica: importanza e scenari applicativi; architettura, principio di funzionamento, modalità di impiego e caratteristiche metrologiche della strumentazione più diffusa sul mercato. Analisi spettrale numerica: importanza e scenari applicativi; architettura, principio di funzionamento, modalità di impiego e caratteristiche metrologiche della strumentazione più diffusa sul mercato.

Implementazione di macchine a stati finiti in LabView. Modello di Mealy. Modello di Moore. Implementazione Labview di pattern di programmazione producer – consumer per acquisizioni dati ad elevate prestazioni. Programmazione Event Driven. Tecniche di gestione data loseless con notifiers e code. Uso di semafori per la sincronizzazione dei dati.

Protocolli di rete per applicazioni di misura IoT. Realizzazione di stazioni di misura automatiche per l'analisi delle funzionalità e delle prestazioni dei protocolli di rete IoT. Analisi dei risultati ottenuti al variare delle condizioni operative.

MATERIALE DIDATTICO

Dispense del corso, slide proiettate durante il corso, norme internazionali, note applicative di importanti produttori di strumentazione di misura nel dominio della frequenza.

SI VEDA SITO WEB DEL DOCENTE DELLA MATERIA

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 35 % delle ore totali; b) laboratori per l'applicazione e l'approfondimento delle conoscenze acquisite durante le lezioni frontali per circa il 60% delle ore complessive; d) seminari su temi specifici per circa il 5% delle ore complessive.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"MISURE PER LA COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA"

SSD IMIS-1/B

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I, II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuna

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenza di base dell'analisi spettrale e della propagazione libera e in guida d'onda dei campi elettromagnetici.

OBIETTIVI FORMATIVI

L'insegnamento si propone di fornire allo studente la conoscenza specialistica delle metodologie per lo studio teorico e sperimentale dei fenomeni di compatibilità elettromagnetica e di esposizione umana ai campi elettromagnetici. Costituiranno parte integrante dell'insegnamento lo studio dei principi di funzionamento della strumentazione di misura, delle configurazioni di prova e delle norme tecniche impiegate nel settore. Le conoscenze teoriche acquisite durante l'attività d'aula saranno approfondite mediante lo sviluppo di un progetto sperimentale finalizzato alla verifica della compatibilità elettromagnetica di dispositivi elettrici ed elettronici o dei livelli di esposizione ai campi elettromagnetici in ambienti residenziali e industriali, durante il quale saranno apprese nozioni avanzate sul software di programmazione LabVIEW.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

L'insegnamento intende fornire allo studente le conoscenze specialistiche e le metodologie necessarie per comprendere i fenomeni di compatibilità elettromagnetica e l'esposizione umana ai campi elettromagnetici, ed il funzionamento della relativa strumentazione di misura. Grazie a ciò, lo studente sarà in grado di riconoscere la natura del fenomeno di interesse, di individuare la strumentazione e il metodo di misura più idonei, di descrivere quali azioni si debbano eseguire per la misurazione, di interpretare i risultati, di determinare l'esistenza di situazioni di potenziale criticità. Lo studente riuscirà a mettere in connessione le scelte relative alla strumentazione e alla configurazione di prova con i risultati ottenuti, per una più corretta interpretazione del fenomeno.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

L'insegnamento è orientato a trasmettere la capacità di applicare gli strumenti metodologici acquisiti per progettare opportunamente una catena di misura per la verifica dei requisiti di compatibilità elettromagnetica o per la determinazione dei livelli di esposizione umana ai campi elettromagnetici, eseguire le prove, analizzare i dati acquisiti, interpretare i risultati dell'analisi e, infine, produrre un documento riepilogativo dell'attività svolta.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Principi base della Compatibilità Elettromagnetica: sorgenti e vittime dei fenomeni di compatibilità, fenomeni radiati e condotti, immunità ed emissione. Il decibel e il suo impiego nella compatibilità elettromagnetica. Strumentazione di misura: ricevitore di interferenza e rivelatore di picco, quasi-picco, media; rete per la stabilizzazione dell'impedenza di linea (LISN); reti di accoppiamento e disaccoppiamento (CDN); sonde di corrente e di tensione. Modello a due fili per l'emissione di disturbi radiati: disturbi di modo differenziale e modo comune. Ambienti per la verifica della compatibilità elettromagnetica: open area test site, camera schermata, camera semi-anechoica e norme per la verifica delle prestazioni (EN 55016-1-4). Configurazione di prova e modalità esecutive per la verifica dell'immunità e emissione, radiata e condotta: EN 55022, EN 61000-4-3, EN 61000-4-6. La normativa di esposizione ai campi elettromagnetici ambientali: DPCM 8/7/2003 e D.Lgs. 81/08; norme per la misura dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori. Sonde e antenne per la misurazione di campi elettromagnetici ambientali. Esecuzione di prove di conformità presso il laboratorio di Compatibilità elettromagnetica; esecuzione di misurazioni di campo elettromagnetico ambientale.

MATERIALE DIDATTICO

- 1) "Introduction to Electromagnetic Compatibility", C. Paul, Ed. Wiley
- 2) Dispense del corso disponibili presso il docente.
- 3) Norme europee per l'esecuzione dei test di verifica di compatibilità.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

L'insegnamento si articola in: lezioni in aula (circa 55% delle ore totali), attività sperimentale in laboratorio (circa 35% delle ore totali), seminari su temi specifici (circa 10% delle ore totali).

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT FOR SMART INDUSTRY"

SSD IMIS-1/B *

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II, III): I, II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Fondamenti della misurazione, fondamenti di informatica

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso ha lo scopo di applicare le tecniche delle misure elettroniche ad una problematica di rilievo. I principali obiettivi formativi riguardano la capacità di specificare, concepire, progettare, implementare, testare, e qualificare hardware e firmware per microcontrollori ed un software di monitoraggio per la misura e il processo dei dati. Si insisterà altresì su multidisciplinarietà e team-working.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere e saper analizzare i requisiti, progettare concettualmente e fisicamente, testare e validare un sistema di misura basato su microcontrollori. Deve dimostrare di avere una conoscenza approfondita delle metodologie impiegate per affrontare un problema pratico di misura ed adottare un linguaggio tecnico appropriato. Deve inoltre essere in grado di lavorare all'interno di un gruppo multidisciplinare in un ambiente che simula una piccola azienda di ricerca e sviluppo.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di essere in grado di gestire una commessa affidata ad un gruppo di ricerca e sviluppo, di coglierne sia gli aspetti tecnologici che economici, nonché essere in grado di gestire le risorse a disposizione per portare a termine il compito assegnato. Il percorso formativo è orientato a trasmettere le capacità, gli strumenti metodologici e gli strumenti operativi necessari a trasferire le conoscenze acquisite, con particolare riferimento al campo delle misure, verso uno scenario applicativo di matrice industriale ed affrontare problematiche rilevanti su tematiche di frontiera.

PROGRAMMA-SYLLABUS

1. TELEMONITORAGGIO E INDUSTRIA 4.0

Concetti generali: monitoraggio avanzato e diagnostica intelligente. Architettura dei sistemi di telemonitoraggio e telemisura: basate su micro-controllori on-chip, su palmari/smartphone, su webservice e PC. Quarta rivoluzione industriale: concetto di Industria 4.0 (o Smart Industry), i nove pilastri. Cenni alla sensoristica dell'Internet of Things (IoT) e Internet of Everything (IoE). Panoramica dei protocolli di comunicazione: Near Field Communications, SubGHz, Narrow Band IoT, LoRa e SigFox.

2. TRASDUTTORI VIRTUALI A MICROCONTROLORE

Sensori e trasduttori: sensore di pressione, sensore di umidità e temperatura, accelerometro, magnetometro, giroscopio. Soft transducers: architetture, progettazione, scelta del modello, identificazione sperimentale, validazione. Esempi soft transducers.

Microcontrollori per l'acquisizione dati: requisiti, architettura, componenti logici e fisici, analisi delle specifiche (esempio famiglia STM Nucleo32), panoramica del mercato (esempio produzione ST Microelectronics). Richiami architettura STM32, programmazione a registri, ambienti di sviluppo (IDE): IAR, CubeMX. Scheda Nucleo. Expansion boards: shield Bluetooth.

Esercitazioni: sviluppo di un progetto per il nodo sensore mediante funzioni di libreria di alto livello: driver, HAL (Hardware Abstraction Layer), Board Support Package (BSP). Implementazione di un processo di misura. Comunicazione Bluetooth e comunicazione con Epson Moverio BT-200.

3. AR E VR PER IL TELEMONITORAGGIO

Introduzione alle interfacce ciberfisiche, realtà aumentata e interfacce cervello-computer. Concetti di Virtual Reality, Mixed Reality e Augmented Reality. Panoramica delle piattaforme di realtà aumentata.

Esercitazioni: programmazione Android degli smart glasses Epson Moverio BT-200.

4. BRAIN COMPUTER INTERFACES PER IL TELEMONITORAGGIO

Introduzione: architettura generica delle interfacce cervello-computer (BCI). Tassonomia dei sistemi BCI: invasivi, parzialmente invasivi, e non invasivi; attivi e passivi; endogeni ed esogeni. Prodotti e tecnologie del mercato di oggi. Tecniche di acquisizione dell'attività cerebrale. Principi di etica dell'interazione cervello-computer.

Misura dello SSVEP: elettroencefalografia (EEG). Elettrodi attivi e passivi, dry e wet. Tecniche di elaborazione del segnale in condizioni critiche di SNR. Approcci per l'elaborazione dei segnali EEG e l'estrazione delle funzionalità pertinenti.

Concetti avanzati: principi di Physical Artificial Intelligence nell'elaborazione di segnali BCI. BCI attivi per applicazioni di controllo. BCI passivi per il monitoraggio dell'interazione uomo macchina mediante dati fisiologici, monitoraggio del carico di lavoro, misura dello stress in ambito 4.0, misura dell'engagement. Esempi d'uso di BCI tra varie comunità scientifiche.

Esercitazioni: acquisizione attività cerebrale tramite Olimex EEG-SMT e BrainBay. Ottimizzazione del piazzamento degli elettrodi (con stampante 3D). Elaborazione segnali e riconoscimento dello SSVEP. Artefatti e sfruttamento dell'eye blink.

5. APPLICATIVO DI MONITORAGGIO INDUSTRIALE I4.0 BASATO SU AR E BCI

Trasformazione delle richieste di un committente in (i) una offerta commerciale (previa analisi di mercato) ed in (ii) un documento dei requisiti utente del sistema da prototipare. Pianificazione dell'attività prototipale (GANTT delle attività con relativi work-packages, tasks, milestones, and deliverables). Analisi dei requisiti dell'applicazione. Analisi della sensoristica per misura delle condizioni di un prodotto. Progettazione concettuale e fisica del nodo sensore e dell'interfaccia AR. Progettazione concettuale e implementazione dell'applicativo BCI. Integrazione sistema BCI-AR/MR per ispezione robotica e non in ambito I4.0. Debug e test. Integrazione e prove di validazione. Stesura della documentazione finale e realizzazione della presentazione del prototipo agli stake-holders del processo.

Esercitazioni: monitoraggio tramite interfaccia AR-BCI di condizioni ambientali e movimenti di un contenitore usato in ambito industriale per il trasporto di materiali.

MATERIALE DIDATTICO

Schmalstieg D., Haulerer T.: Augmented Reality Principles and Practice (Usability). Addison-Wesley Professional, 2016.

Steven M. La Valle, Virtual Reality, 2017, Cambridge Univ. Press

Marius Preda, Getting Started with Augmented Reality, Corso MOOC

Edoardo Bellanti, Alice Corsi e Gianni Verrcelli, Video a 360° per la realtà virtuale, 2017

Hassanien, Aboul Ella, and A. A. Azar, Brain-computer interfaces. Switzerland: Springer (2015).

Wolpaw, Jonathan, and Elizabeth Winter Wolpaw, eds. Brain-computer interfaces: principles and practice. OUP USA, 2012.

Bansal, Dipali, and Rashima Mahajan, EEG-Based Brain-Computer Interfaces: Cognitive Analysis and Control Applications, Academic Press, 2019.

Application notes costruttori.

Manuali componenti, demo boards e applicativi.

Slide docenti.

SI VEDA SITO WEB DEL DOCENTE DELLA MATERIA

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il corso si articolerà in lezioni teoriche per circa il 20%, esercitazioni pratiche per il 75% circa, e seminari di esperti del settore per il restante 5%. Le esercitazioni pratiche consisteranno di un progetto multidisciplinare da portare a termine in gruppo. Le slide utilizzate e tutto il materiale prodotto durante le lezioni saranno condivisi tra i vari membri del team.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

L'elaborato progettuale sarà monitorato durante lo svolgimento del corso e discusso al suo termine ai fini dell'esame. Alla discussione saranno affiancate anche domande di teoria volte a sondare le conoscenze acquisite dagli allievi.

b) Modalità di valutazione:

L'esito finale dell'esame sarà prevalentemente determinato sulla base dell'elaborato progettuale discusso. Le domande di teoria avranno un peso pari circa al 10% del voto finale.

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"MODELLI E ALGORITMI DI OTTIMIZZAZIONE"

SSD MATH-06/A *

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: I

SEMESTRE: II

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso ha l'obiettivo di fornire agli studenti conoscenze avanzate di programmazione matematica per la modellazione e risoluzione esatta di problemi decisionali complessi di ottimizzazione su rete in ambito ingegneristico. Lo studio teorico dei principali algoritmi per il calcolo della soluzione ottima dei problemi decisionali affrontati è completato dalla sperimentazione numerica di tali algoritmi mediante l'utilizzo di software di ottimizzazione. Al termine del corso lo studente avrà acquisito la conoscenza di metodologie avanzate per la modellazione e soluzione di problemi di ottimizzazione continua, intera e mista-intera su reti informatiche e di telecomunicazioni.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo ha l'obiettivo di fornire agli studenti le metodologie di ottimizzazione continua, intera e mista-intera necessarie per la modellazione e risoluzione esatta di problemi ingegneristici nell'ambito delle reti informatiche e di telecomunicazioni. Lo studente deve dimostrare di aver acquisito gli strumenti necessari a formulare un problema decisionale mediante un modello di programmazione matematica, individuando funzione obiettivo, variabili decisionali e vincoli del sistema oggetto di studio. Lo studente deve inoltre essere in grado di individuare il miglior metodo risolutivo da utilizzare per la determinazione della soluzione ottima di un problema decisionale, in relazione alle sue specifiche caratteristiche. Infine, lo studente deve essere in grado di analizzare la sensibilità della soluzione ottenuta rispetto alla variabilità delle condizioni al contorno e comprenderne i nessi causali.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Il percorso formativo è orientato a trasmettere gli strumenti metodologici e operativi necessari ad applicare concretamente le conoscenze di programmazione matematica a problemi di ottimizzazione su rete emergenti nel contesto informatico e delle telecomunicazioni. In particolare, lo studente deve dimostrare di saper sviluppare tutte le fasi di un processo decisionale: analisi del sistema (definizione delle sue componenti, dei parametri che lo caratterizzano, assunzioni e specifiche di funzionamento); definizione del problema decisionale; selezione/costruzione di un modello matematico di simulazione del sistema; implementazione e risoluzione del modello tramite un algoritmo e/o un software di ottimizzazione; analisi ed interpretazione dei risultati al fine di verificare la qualità della soluzione e mettere in atto eventuali meccanismi di retroazione.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Ottimizzazione non lineare multidimensionale non vincolata
 - Metodi di gradiente
 - Algoritmo di discesa e salita ripida, gradiente coniugato
 - Analisi grafica ed esercitazioni numeriche

- Ottimizzazione non lineare e lineare multidimensionale vincolata
 - Condizioni di ottimo nei problemi di ottimizzazione vincolata (condizioni di Kuhn-Tucker)
 - Rilassamento Lagrangiano
 - Metodi a direzione ammissibile
 - Analisi grafica ed esercitazioni numeriche
 - Ottimizzazione lineare come caso particolare della Ottimizzazione non lineare

- Algoritmo del semplice, analisi di stabilità e dualità
- Metodi avanzati di ottimizzazione lineare intera (PLI)
 - Formulazione di problemi ottimizzazione lineare intera e nocciolo convesso
 - Metodi avanzati di risoluzione basati su “row e column generation”
 - Branch and Bound e Branch and Cut
 - Tecniche di rilassamento
- Problemi avanzati di instradamento, localizzazione e progetto su rete (modellazione e soluzione).
 - Problemi di percorso: problemi di minimo percorso e minimo percorso vincolato (minimi percorsi attraverso specificati vertici, con finestre temporali, con risorse limitate), minimo percorso con vincoli di capacità (Quickest path e quickest flow); problema del percorso massimo
 - Problemi di flusso: dei problemi di flusso single e multi-commodity con costi costanti e costi variabili; problemi di massimo flusso; problemi con flussi unicast e multicast;
 - Problemi di network design: problemi di localizzazione; progettazione di reti multi-layer; progettazione e dimensionamento di reti di comunicazione; progettazione di reti affidabili e resilienti.
- Software di ottimizzazione:
 - introduzione ai software di ottimizzazione (Xpress, Cplex);
 - modellazione e risoluzione di problemi reali di programmazione lineare continua, intera e mista-intera tramite tecniche esatte

MATERIALE DIDATTICO

- A. Sforza, Modelli e Metodi della Ricerca Operativa, III ed., ESI, Napoli
- F. S. Hillier, G. J. Lieberman, Ricerca operativa - Fondamenti, 9/ed., McGraw-Hill
- C. Guéret, C. Prins, M. Sevaux, Applications of optimization with Xpress-MP, Editions Eyrolles, Paris
- IBM ILOG CPLEX V12.7 User's Manual for CPLEX
- Materiale didattico integrativo fornito durante il corso e materiale disponibile on-line

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: lezioni frontali (60%), seminari (10%), esercitazioni di tipo numerico e di introduzione all'uso di software di ottimizzazione (30%). Il materiale del corso sarà reso disponibile on-line agli studenti.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

L'esame prevede lo svolgimento di un elaborato progettuale in cui lo studente deve sviluppare e risolvere un modello di programmazione matematica (continua, intera o mista-intera, rappresentativo di un problema decisionale reale. Il modello sviluppato deve essere implementato in un software di ottimizzazione (Xpress o Cplex) e risolto tramite l'utilizzo delle relative librerie di metodi esatti. L'elaborato progettuale viene assegnato allo studente prima della fine del corso e dovrà essere consegnato prima del colloquio orale. Il colloquio orale avrà come oggetto sia la discussione dell'elaborato progettuale che l'accertamento dell'acquisizione dei concetti e delle metodologie illustrati durante le lezioni.

b) Modalità di valutazione:

La consegna dell'elaborato progettuale è vincolante ai fini dell'accesso al colloquio orale. L'elaborato progettuale e la prova orale contribuiscono ognuna per il 50% della valutazione finale. La consegna dell'elaborato progettuale non è sufficiente per il superamento dell'esame.

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

SPACE EXPERIMENTS

SSD IND-01/F

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: II

SEMESTRE: II

CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base di matematica e fisica generale.

OBIETTIVI FORMATIVI

Lo studente acquisirà i concetti fondamentali riguardanti le problematiche scientifiche e ingegneristiche connesse all'esecuzione di esperimenti a bordo di piattaforme spaziali, con particolare riferimento agli aspetti che riguardano la ricerca in microgravità. Gli argomenti includono lo studio del comportamento dei fluidi in condizioni di gravità ridotta, la relativa modellazione e lo studio delle tecniche sperimentali disponibili a bordo di piattaforme spaziali.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente dovrà dimostrare di aver raggiunto un'adeguata conoscenza delle problematiche scientifiche e ingegneristiche connesse all'esecuzione di esperimenti a bordo di piattaforme spaziali.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente dovrà dimostrare di essere in grado di applicare i concetti acquisiti nell'ambito dello studio dei fenomeni che caratterizzano la sperimentazione a bordo di piattaforme spaziali, essere in grado di comprendere quali sono i principi fisici, le soluzioni tecnologiche e le metodologie teoriche, numeriche e sperimentali utilizzate per tali applicazioni.

PROGRAMMA-SYLLABUS

[1cfu] Introduzione all'utilizzo dello spazio e panoramica dei principali programmi scientifici spaziali. Ruolo dei ricercatori principali, delle industrie spaziali e delle agenzie. Prospettive storiche del volo spaziale umano.

[0.5 cfu] Organizzazione e attività delle Agenzie Spaziali. Attuali programmi spaziali governativi e commerciali. Motivazioni per la ricerca in microgravità.

[0.5 cfu] Principali campi di ricerca nelle Scienze dei fluidi, dei materiali e della vita e applicazioni correlate

[1 cfu] Piattaforme per la microgravità di breve e lunga durata: torri di lancio e tubi di caduta, voli parabolici su aerei, razzi sonda, piattaforme orbitali.

[1 cfu] Fondamenti di scienza dei fluidi. Comportamento dei fluidi e dei materiali nello spazio. Fluidodinamica di microgravità: capillarità, equazioni di equilibrio, analisi dell'ordine di grandezza ed esempi. Galleggiabilità e convezione guidata dalla tensione superficiale. Applicazioni tecnologiche: processi containerless.

[1 cfu] La Stazione Spaziale Internazionale (ISS). Elementi pressurizzati e non pressurizzati. Risorse di alloggio e utilizzo per i payload. Laboratorio Columbus. Impianti di microgravità.

[1 cfu] Operazioni scientifiche. Segmento di terra. Diagnostica ottica per fluidodinamica di microgravità.

MATERIALE DIDATTICO

SI VEDA SITO WEB DEL DOCENTE DELLA MATERIA

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali ed esercitazioni numeriche e di laboratorio

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
Altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

Il voto finale è formulato dalla Commissione d'esame con riferimento al livello di conoscenza degli argomenti del corso da parte dello studente. La valutazione finale viene discussa ed evidenziata ad ogni studente.

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

SPACE SYSTEMS

SSD IND-01/E

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: I

SEMESTRE: I

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

OBIETTIVI FORMATIVI

The course provides the basic elements for the design of a space system in response to space mission requirements and objectives, with particular concern to the subsystems on board a satellite, in terms of mathematical and physical modeling of the subsystem behavior, technologies and development examples and solutions.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

The course aims at providing students with the knowledge and methodological tools necessary to analyze space systems. These tools will allow students to understand the causal connections between mission requirements and space system design, the functional relationships among the various subsystems of a satellite, and to grasp the implications on the design of a space system or subsystem deriving from the interaction with the space environment. Students must demonstrate knowledge and understanding of the problems related to the design of a space system and its components and subsystems.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Students must be able to use a set of technical information concerning space systems and related components and subsystems to solve problems concerning their design and operation; to apply the methodological tools learned in the course to the design of a space system and its components. The course is therefore aimed at transmitting the ability to apply and concretely use the knowledge and methodological tools acquired for the design of a space system.

PROGRAMMA-SYLLABUS

[1.5 CFU] Elements of space system design and engineering: space program life-cycle, space mission architecture (mission objective and payload, space segment, ground segment, launcher), system and subsystem mass and power budgets, design margins. Exercise and practical design examples. Introductory elements on space qualification and ground testing

[1.5 CFU] The Space Environment and its interaction with the satellite and its subsystems: the atmosphere, the ionosphere, the magnetosphere, the radiation environment and its main effects on satellite units and subsystems, the thermal environment, the main perturbations acting on a satellite and their effects.

[6 CFU] Elements for the design of satellite subsystems: main subsystems/units and components of a satellite, architectures and technological solutions, operating principles, derivation of the design requirements from mission objectives. Simplified mathematical models for subsystem and component design: attitude and orbit control subsystem, electrical power subsystem, thermal control subsystem, telemetry and telecommunication subsystem, propulsion subsystem. Exercises and practical design examples. A set of design assignments (or project works) is also proposed to students divided in teams to be developed during the course.

MATERIALE DIDATTICO

Course viewgraphs and the following suggested textbooks:

Charles D. Brown, Elements of Spacecraft Design, AIAA education series 2002, ISBN 1563475243;

James Richard Wertz, Wiley J. Larson, Space mission analysis and design, Volume 8, Springer, 1999, ISBN 0792359011; James Richard Wertz, Spacecraft attitude determination and control, Springer, 1978, ISBN 9027709599;

Vincent L. Pisacane, Fundamentals of space systems, Oxford University Press US, 2005, ISBN 0195162056.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lessons and exercises.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
Altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

The final grade is formulated by the Examination Committee according to the scores achieved by the student in the project presentation and successive oral exam.

The final evaluation is discussed and highlighted to each student.

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

SSD IND-01/E

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: II

SEMESTRE: I

CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

OBIETTIVI FORMATIVI

The course is intended to provide a basic knowledge about architecture and operation of Unmanned Aircraft Systems (UAS), dealing in particular with UAS classification, regulations, sensors and data fusion algorithms, autonomous guidance, navigation and control, communication and data links, ground stations.

Special emphasis is given to enabling technologies for autonomous flight and UAS integration in the civil airspace, such as ground-based and airborne sense and avoid systems.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Students will learn basic information about architecture and operations of Unmanned Aircraft Systems, with emphasis on autonomous flight and communications, navigation and surveillance technologies.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Students will be able to apply their knowledge on Unmanned Aircraft Systems to design, develop, or select architectures and technologies that fulfill specific mission objectives, also accounting for airspace integration.

PROGRAMMA-SYLLABUS

[1 CFU] Introduction. Definitions and principles.

UAS Configurations and Applications: Military & Civilian Roles. Evolution, current and future systems.

[5 CFU] UAS Onboard Systems:

- Overview of UAS payloads
- Onboard navigation systems and landing aids
- Vision-based applications and techniques, vision-aided navigation
- Basics of data fusion and airborne tracking systems
- UAS planning, guidance, and control
 - o fixed wing - architecture and algorithms of UAS autopilots: path planning, path management, guidance (trajectory tracking, path following), autopilot control loops
 - o rotary wing - dynamics and control of multicopter systems, planning and guidance approaches
 - o exercises and practical examples of small UAS guidance navigation and control with ad hoc software tools.

[1 CFU] UAS communications and ground control systems

UAS ground stations and human factors, levels of automation, mission planning systems.

[2 CFU] Regulations and airspace integration

Current UAS operations, cooperative and non-cooperative separation assurance and collision avoidance systems, ground-based and airborne sense and avoid systems and algorithms. Practical anti-collision system design examples.

MATERIALE DIDATTICO

Slides, lecture notes, technical papers.

Textbooks:

J. Gundlach, Designing Unmanned Aircraft Systems: A Comprehensive Approach, AIAA Education Series, 2012.

R. Austin, Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, Development and Deployment, Wiley, 2010.

R.W. Beard, T.W. McLain, Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice, Princeton University Press, 2012.

R.W. Beard, Quadrotor dynamics and control, lecture notes, 2008.

S. Blackman, R. Popoli, Design and analysis of modern tracking systems, Artech House, 1999.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lectures, tutorials, exercises.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	
Altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	X
	Esercizi numerici	X

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

The final grade is formulated by the Examination Committee with reference to the level of the student's knowledge of the course topics.

The final evaluation is discussed and highlighted to each student.

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"WEB AND REAL TIME COMMUNICATION SYSTEMS"

SSD IINF-05/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO: II

SEMESTRE: II

CFU: 6

REQUIRED PRELIMINARY COURSES (IF MENTIONED IN THE COURSE STRUCTURE “Regolemento”)

PREREQUISITES (IF APPLICABLE)

LEARNING GOALS

The aim of the class is to provide students with advanced notions in the field of both web-based and real-time communication. Students will become familiar with the design and development of complex communication systems, by focusing both on the client-side and on the server-side. They will become acquainted with the networking protocols that form the basis of web-based and real-time communication, as well as learn how to use the standard Application Programming Interfaces (APIs) laying on top of them. This is both a programming class and a networking class. All of the networking protocols and solutions will be first studied in detail and then put into practice through the design and implementation of proof-of-concept prototypes representing real-world application scenarios.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES (DUBLIN DESCRIPTORS)

At the end of the class, students will be able to demonstrate advanced knowledge in the field of web-based and real-time communication. They will have a clear understanding of the protocols and APIs representing the state of the art in both fields. Step by step, the class will bring them towards an integrated approach, whereby web-based and real-time communication eventually co-exist in a single, unified scenario adhering to the latest standards issued by both the Internet Engineering Task Force (IETF) and the World Wide Web Consortium (W3C).

They will be ready to enter the professional arena and become part of cutting-edge development teams, by actively contributing to the design and the implementation of advanced communication systems. Successful completion of the class will allow them to effectively apply the acquired knowledge to a number of real-world scenarios requiring advanced engineering capabilities, by putting together their networking competences and their advanced programming skills.

Knowledge and understanding

Students need to show ability to know and understand problems related to both the communication and the programming issues associated with the design and development of complex interoperating distributed systems.

They need to elaborate arguments related to the relationship between communication protocols, synchronous and asynchronous interaction, client-side, server-side and peer-to-peer programming, by embracing an engineering approach and looking at them in an integrated fashion. The class provides students with advanced knowledge in the field of web-based real-time communication, by also illustrating how to leverage both methodological and practical tools in order to design and implement effective, interoperable, scalable and secure real-time multimedia communication systems that are compliant with state-of-the-art standard protocols and APIs. Such tools will allow students to grasp the causal connections among network-based communication and event-based programming, as well as understand the implications of the adoption of an agile design and development paradigm for the realization of advanced communication systems.

Applying knowledge and understanding

Students need to show ability to design complex systems involving distributed components that exchange multiple media in a real-time fashion. They will have to demonstrate a clear understanding of the main networking protocols offering support to such systems for all what concerns their communication requirements. They will have to demonstrate advanced programming skills, with special reference to the use of

the standard APIs that are offered to programmers both on the client-side and on the server-side. The course delivers skills and tools needed to apply knowledge in practice, favoring the ability to use a methodological approach that properly integrates different technologies (as well as different programming languages) in a unified framework allowing to effectively look after the many facets of a complex communication system.

COURSE CONTENT/SYLLABUS

The class will proceed step-wise towards the final goal of designing and implementing integrated systems putting together the most up-to-date solutions in the fields of web-based and real-time communication. Web-based communication protocols and technologies will be first introduced, by focusing both on the communication and on the programming aspects. Server-side web application development will be analyzed in detail, with the help of real-world examples associated with state-of-the-art frameworks and programming languages. Client-side web programming through the JavaScript language will be discussed, with a focus on both the synchronous and the asynchronous paradigm. The XML (eXtensible Markup Language) language and APIs will be introduced and analyzed in depth. The focus will then move to real-time communication, by looking at both the data layer and the signaling layer. State-of-the-art streaming technologies will be discussed in detail and comparatively analyzed. Network reachability and NAT (Network Address Translation) traversal issues will be presented, together with the standard protocols that have been designed in order to effectively deal with them. A detailed overview of the most up-to-date Instant Messaging applications and related standard protocols will be presented. Finally, the class will show how to put things all together in an integrated framework that leverages both the IETF RtcWeb and the W3C WebRTC standard protocols and APIs in order to realize next-generation web-enabled real-time communication scenarios.

Syllabus:

- Web-based communication basics: HTTP protocol deep-dive
- Server-side programming basics: Common Gateway Interface (CGI)
- Server-side programming in Java through Java servlets
- Server-side programming in Python through the Flask framework
- Server-side programming in Java through the Spring Boot framework
- Client-side programming with JavaScript
- Asynchronous JavaScript and XML (AJAX) and the Fetch API
- The XML language
- XML programming
- Server-side programming in JavaScript with Node.JS
- Web-based interaction through WebSockets
- The Real-time Transport Protocol (RTP)
- Voice over IP (VoIP) applications and the Session Initiation Protocol (SIP)
- Streaming protocols and technologies:
 - o Real Time Streaming Protocol (RTSP)
 - o MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)
 - o Real Time Messaging Protocol (RTMP)
 - o Peer-to-peer approaches
- NAT-traversal protocols:
 - o Session Traversal Utilities for NAT (STUN)
 - o Traversal Using Relays Around NAT (TURN)
 - o Interactive Connectivity Establishment (ICE)
- Instant Messaging protocols and technologies:

- Internet Relay Chat (IRC)
- Session Initiation Protocol for Instant Messaging and Presence Leveraging Extensions (SIP/SIMPLE)
- eXtensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)
- WebRTC-enabled IM through data channels
- Web-socket enabled IM
- Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) enabled IM
- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) enabled IM
- Simple Text Orientated Messaging Protocol (STOMP) enabled IM
- The RabbitMQ library
- Secure, decentralized real-time communication through Matrix
- User interface design and implementation through React.js
- Using native components instead of web components with React Native
- WebRTC: the new frontier of real-time communications in the web
- The Janus WebRTC media server and gateway

READINGS/BIBLIOGRAPHY

1. Official references like, e.g., Requests For Comments (RFC), available at: <https://www.ietf.org>
2. “Real-Time Communication with WebRTC”, Salvatore Loreto, Simon Pietro Romano, Released May 2014, Publisher: O'Reilly Media, Inc. ISBN: 9781449371876
3. Slides and additional materials provided by the teacher and made available on the official sites associated with the class

TEACHING METHODS

Teacher will use a hands-on approach for the entire duration of the class. All of the course topics will be both presented in theory and further analyzed through practical examples.

All of the students will have to work on a practical project, either individually or in groups, focused on an in-depth study of one or more of the topics addressed during the class.

EXAMINATION/EVALUATION CRITERIA

a) Exam type:

Exam type	
written and oral	
only written	
only oral	X
project discussion	X
other	

In case of a written exam, questions	Multiple choice answers	
--------------------------------------	-------------------------	--

refer to: (*)	Open answers	
	Numerical exercises	

(*) multiple options are possible

b) Evaluation pattern:

- 35% of the final mark will depend on an evaluation of the practical project developed by the student (either individually or in group). The project itself will have to be delivered (with a fully-fledged documentation, including source code, if applicable) to the teacher at least seven days in advance of the oral examination date;
- 65% of the final mark will depend on the results of the oral interview.

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)
ELEMENTI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE

SSD: IINF-05/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II): I, II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

EVENTUALI PREREQUISITI

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso ha l'obiettivo di fornire le metodologie e le tecniche di base per comprendere ed affrontare le problematiche proprie dell'Intelligenza Artificiale.

Gli studenti acquisiranno i fondamenti teorici relativi agli agenti intelligenti, la loro interazione con l'ambiente circostante; la risoluzione di problemi, le strategie di ricerca e la ricerca con avversari. Si apprenderanno i metodi e le tecniche di teoria dei giochi, le decisioni ottime, imperfette in tempo reale, i giochi che includono elementi casuali e lo stato dell'arte dei programmi di gioco.

Gli studenti acquisiranno i concetti fondamentali della logica del primo ordine, l'inferenza e la deduzione; padroneggeranno i metodi e le tecniche di programmazione logica e del linguaggio del paradigma logico ProLog; la conoscenza incerta e il ragionamento per stabilire come agire in condizioni di incertezza. Saranno introdotti ai concetti alla base del ragionamento probabilistico e dell'apprendimento automatico.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il corso intende fornire agli studenti le conoscenze necessarie per comprendere e analizzare soluzioni di problemi basati su tecniche di Intelligenza Artificiale.

Saranno forniti gli strumenti per padroneggiare sia la teoria che le metodologie per la risoluzione di problemi e le strategie di ricerca di soluzioni, nonché elementi di programmazione logica. Saranno introdotte le conoscenze che sono alla base del ragionamento probabilistico e dell'apprendimento automatico.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Il corso è orientato a trasmettere le capacità e gli strumenti metodologici e operativi necessari ad applicare le conoscenze di tecniche di Intelligenza Artificiale, nonché a favorire la capacità di utilizzare gli strumenti metodologici acquisiti per la realizzazione di soluzioni basate su tecniche di Intelligenza Artificiale. Le tecniche e i modelli proposti saranno applicati durante il corso a domini specialistici.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Parte I: Introduzione all'Intelligenza Artificiale

Agenti intelligenti: Agenti ed ambienti, il concetto di razionalità, la natura degli ambienti, la struttura degli agenti

Parte II: Risoluzione di problemi

Risolvere i problemi con la ricerca: Agenti risolutori di problemi, Problemi esemplificativi, Cercare soluzioni, Strategie di ricerca non informata, Ricerca in ampiezza, Ricerca a costo uniforme, Ricerca in profondità, Ricerca a profondità limitata

Ricerca ad approfondimento iterativo, Ricerca bidirezionale, Confronto tra le strategie di ricerca non informata, Evitare ripetizioni negli stati, Ricerca con informazione parziale.

Ricerca informata: Strategie di ricerca informata o euristica, Ricerca Best-first greedy o "golosa", Ricerca A*, Ricerca euristica con memoria limitata, Algoritmi di ricerca locale e problemi di ottimizzazione, Ricerca hill-climbing, Simulated annealing, Ricerca local-beam, Algoritmi genetici.

Ricerca con avversari: Giochi, Decisioni ottime nei giochi, L'algoritmo minimax, Potatura alfa-beta, Decisioni imperfette in tempo reale, Giochi che includono elementi casuali, Lo stato dell'arte dei programmi di gioco.

Parte III: Conoscenza e ragionamento

Agenti logici: Agenti basati sulla conoscenza, Il mondo del wumpus, Logica, Calcolo proposizionale, Schemi di ragionamenti nel calcolo proposizionale, Concatenazione in avanti e all'indietro.

Logica del primo ordine: Sintassi e semantica della logica del primo ordine, Usare la logica del primo ordine.

L' inferenza nella logica del primo ordine: Inferenza proposizionale e inferenza del primo ordine, Unificazione Concatenazione in avanti, Concatenazione all'indietro, Programmazione Logica, Prolog, Liste in Prolog, Operatori extra-logici: not, cut, fail

Parte IV: Conoscenza incerta e ragionamento

Incertezza: Agire in condizioni di incertezza, Notazione base della teoria della probabilità, Inferenza basata su distribuzioni congiunte complete, Indipendenza, La regola di Bayes ed il suo utilizzo.

Ragionamento probabilistico: Rappresentazione della conoscenza in un dominio incerto, Semantica delle reti bayesiane

Rappresentazione efficiente delle distribuzioni condizionate.

Parte V: Apprendimento

Apprendimento dalle osservazioni: Forme di apprendimento. Apprendimento induttivo.

Reti Neurali: Definizione di rete neurale, Training e Learning, Modalità di addestramento, Leggi di apprendimento.

Il percettrone di Rosenblatt, Il percettrone multilivello, Il teorema di Kolmogorov, Rete Learning Vector Quantization (LVQ)

Mappe Auto Organizzanti di Kohonen (SOM).

MATERIALE DIDATTICO

Libri di testo consigliati:

S.J.Russell, P. Norvig, Intelligenza artificiale. Un approccio moderno, volumi 1 (3/ed, 2010) e 2 (2/ed, 2005), Pearson Education Italia.

Altro materiale didattico:

Materiale prodotto e fornito dai Docenti

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

L'insegnamento si svolgerà con lezioni frontali (70% delle ore totali) ed esercitazioni di laboratorio (30% delle ore totali).

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	X
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

L'elaborato Progettuale sarà proposto al centro del corso.

b) Modalità di valutazione:

La prova di esame avrà lo scopo di accertare il raggiungimento degli obiettivi formativi previsti per l'insegnamento, è articolata in una prova scritta ed una prova orale incentrata sugli argomenti del corso.

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)
"MACHINE LEARNING FOR ENGINEERING"

SSD IINF-05/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II): II

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

EVENTUALI PREREQUISITI

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivo del corso è presentare i principali tecniche di Machine Learning per la soluzione di problemi di classificazione, predizione numerica e clustering e le metodologie di gestione e sviluppo di un processo di Machine Learning, dalla preparazione dei dati alla valutazione dei risultati.

Il corso consentirà anche di sviluppare competenze pratiche nella soluzione di problemi reali tramite tecniche di Machine Learning, grazie ad esercitazioni svolte con tool commerciali e/o open source.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve conoscere i principali algoritmi di Machine Learning e Deep Learning. Lo studente deve inoltre dimostrare di essere in grado di scegliere l'algoritmo di Machine Learning più adatto a risolvere uno specifico problemi di classificazione e/o predizione numerica e/o clustering, sulla base dei requisiti del problema medesimo. Lo studente deve infine dimostrare di essere in grado di scegliere le opportune tecniche di preparazione dei dati e deve conoscere le tecniche necessarie per la valutazione delle prestazioni di algoritmi di Machine Learning e Deep Learning.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di essere in grado di risolvere problemi reali di classificazione, predizione numerica o clustering utilizzando tecniche di Machine Learning. Deve anche dimostrare di saper valutare in modo corretto le prestazioni dei sistemi che realizza.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Introduzione al Machine Learning (0.25 CFU)

Input ed Output (0.5 CFU)

Concetti, istanze ed attributi. Rappresentazione della conoscenza.

Metodi di base (1.25 CFU)

Modelli probabilistici, alberi di decisione, regole di classificazione, modelli lineari, instance-based e multi-instance learning, clustering.

Valutazione delle prestazioni (0.5 CFU)

Training e Testing. CV, LOO, Cost-sensitive classification. ROC. Valutazione di algoritmi di predizione numerica.

Metodi avanzati (2 CFU)

Alberi di decisione: C4.5. Regole di classificazione. Instance-based learning. Estensione dei modelli lineari: SVM. Epsilon-SVR. MLP. Predizione numerica con modelli lineari.

Trasformare i dati (0.25 CFU)

Selezione degli attributi, PCA, Discretizzazione, Campionamento. One-class classification.

Metodi probabilistici (0.25 CFU)

Reti bayesiane. Probability Density Estimation e Clustering. Modelli sequenziali e temporali (cenni).

Deep Learning (0.5 CFU)

Addestramento e valutazione delle prestazioni di reti deep, Convolutional Neural Networks, Autoencoders. Reti Neurali ricorrenti e GAN (cenni).

Oltre l'apprendimento supervisionato e non-supervisionato (0.25 CFU)

Semi-supervised learning. Multi-instance learning.

Ensemble Learning (0.25 CFU)

Bagging, Randomization, Boosting, Stacking, ECOC.

MATERIALE DIDATTICO

Data mining: practical machine learning tools and techniques. —4th ed. / Ian H. Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall, Christopher J. Pal. —The Morgan Kaufmann, 2017.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 60% delle ore totali, b) esercitazioni per approfondire praticamente aspetti teorici per circa il 35% delle ore totali, c) seminari per circa il 5% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

Ciascuno studente dovrà sviluppare durante il corso 3 progetti, che, in caso di valutazione positiva, lo esonerano dallo sviluppo dell'elaborato progettuale finale. In sede di esame, ciascuno studente discuterà uno dei 3 progetti sviluppati durante il corso o l'elaborato progettuale finale, prima della prova orale.

b) Modalità di valutazione:

La discussione dell'elaborato progettuale pesa per 1/10, mentre la prova orale per 9/10.

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"NETWORK SECURITY"

SSD IINF-05/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II): II

SEMESTRE (I, II): I

CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

EVENTUALI PREREQUISITI

OBIETTIVI FORMATIVI

Scopo del corso è quello di fornire agli studenti nozioni avanzate nel campo della sicurezza di rete. Gli studenti acquisiranno familiarità con i più noti meccanismi di sicurezza, nonché con le tecniche di mitigazione degli attacchi informatici, concentrandosi sulle soluzioni disponibili ai vari livelli dello stack protocollare di rete, dallo strato fisico a quello applicativo.

Il corso fa leva su alcuni dei concetti trattati nel corso di "Secure Systems Design", con particolare riferimento alla crittografia simmetrica, alla confidenzialità dei messaggi, alla crittografia a chiave pubblica ed alla autenticazione. D'altro canto, esso introduce alcuni degli argomenti che costituiscono il nucleo del corso di "Software Security", quali, ad esempio, gli attacchi di tipo "buffer overflow" e le tecniche di fuzzing.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Alla fine del corso, gli studenti saranno in grado di dimostrare conoscenze avanzate nel campo della sicurezza di rete. Essi avranno un'idea chiara della catena vulnerabilità-minaccia-attacco e saranno capaci di progettare tecniche di difesa efficaci. Sapranno come proteggere una infrastruttura critica di rete. Saranno pronti ad entrare a far parte del mercato del lavoro come membri di team esperti in cybersecurity, contribuendo attivamente sia alle fasi di rilevamento degli attacchi di rete, che a quelle di reazione e di implementazione delle necessarie azioni correttive. Il completamento con successo del corso consentirà loro di portare sul campo le conoscenze maturate, giocando un ruolo da protagonisti all'interno dei cosiddetti Security Operation Center (SOC) e/o di team di professionisti specializzati in sicurezza informatica.

Conoscenza e capacità di comprensione

Gli studenti dovranno mostrare di saper comprendere ed approfondire le problematiche legate alla protezione efficace di una architettura di rete da attacchi informatici. Dovranno approfondire argomenti relativi alle relazioni che intercorrono tra la sicurezza a livello del singolo nodo, del Sistema Operativo, del software e della rete, inquadrando il tutto in una visione integrata che faccia uso di un approccio olistico. Il corso fornisce agli studenti conoscenze avanzate nell'ambito della cybersecurity, illustrando come far leva su strumenti sia metodologici che pratici, al fine di scoprire vulnerabilità, rilevare attacchi, analizzare paradigmi di interazione e modelli comportamentali degli utenti di una rete, progettare ed implementare misure di difesa adeguate, con un approccio di tipo sia "reattivo" che "proattivo". Tali strumenti consentiranno agli studenti di identificare le connessioni causali che intercorrono tra i concetti di vulnerabilità, minaccia ed attacco, nonché di comprendere le implicazioni derivanti dall'impiego di un approccio offensivo al miglioramento del livello complessivo di sicurezza di una infrastruttura di rete.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Gli studenti dovranno mostrare capacità di prendere decisioni, valutandone le conseguenze, a partire dalle informazioni disponibili (traffico in tempo reale, tracce di traffico registrate, file di log, audit del registro di sistema, codice sorgente delle applicazioni, ecc.) al fine di gestire in maniera efficace le problematiche relative alla presenza di un possibile attacco distribuito in rete. Essi dovranno anche dimostrare una conoscenza avanzata delle tecniche e degli strumenti che possono essere impiegati al fine di prevenire un attacco, rilevarlo in tempo reale, mitigarne gli effetti e contrastarne la presenza tramite l'impiego di meccanismi di rimedio attivo. Il corso fornisce le competenze e gli strumenti necessari per applicare in scenari pratici le conoscenze acquisite, favorendo la capacità di impiegare un approccio metodologico che integri in maniera opportuna differenti tipi di contromisure (eventualmente disponibili a diversi livelli dello stack protocollare di rete), nell'ambito di un contesto omogeneo che consenta di prendere in considerazione le molteplici sfaccettature di un attacco alla sicurezza.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Le principali proprietà di sicurezza di un sistema informatico saranno introdotte e discusse in dettaglio. Verranno poi presentati ed analizzati gli approcci per migliorare la sicurezza ai vari livelli dello stack protocollare di rete. Il corso adotta un approccio del tipo “offensive security”. Saranno illustrati i concetti legati alla cosiddetta catena vulnerabilità-minaccia-attacco. Verranno descritte le tecniche di preparazione di un attacco informatico, quali footprinting, scanning ed enumeration. La fase finale di un attacco, nota con il termine exploitation, verrà infine presentata. Saranno introdotti argomenti quali il firewalling, il rilevamento delle intrusioni, l’analisi del software malevolo e la protezione da attacchi di tipo DDoS (Distributed Denial of Service). Le principali tecniche di cosiddetto ethical hacking saranno infine presentate ed analizzate in dettaglio.

Syllabus:

- Network security: principi ed architettura
 - o requisiti funzionali di sicurezza
 - o minacce, attacchi, contromisure
- Sicurezza delle reti wireless
- Sicurezza al livello rete
 - o la suite di protocolli IPsec
- Sicurezza al livello trasporto
 - o Secure Socket Layer (SSL), Transport Layer Security (TLS), Secure Shell (SSH)
- Sicurezza al livello applicativo:
 - o E-mail
 - o Web
 - HTTPS
 - architettura di sicurezza di WebRTC (Web Real Time Communications)
- Cloud Computing e sicurezza (cenni)
- Introduzione al software malevolo
 - o tassonomia
 - Virus, worm, Trojan, rootkit, ecc.
 - o Advanced Persistent Threats (APTs)
 - o contromisure
- Attacchi “Denial of Service” (DoS) e “Distributed Denial of Service” (DDoS)
- Intrusion Detection Systems (IDS)
 - o tecniche “host-based”, “network-based” e ibride
- Firewall ed Intrusion Prevention Systems (IPS)
- Hacking in reti IP
 - o Fasi preliminari di un attacco:
 - Footprinting, scanning, enumeration
 - o Tecniche di attacco orientate:
 - agli end-system ed ai server;
 - all’infrastruttura:
 - reti VoIP (Voice over IP)
 - reti Wireless
 - sistemi hardware
 - ai dati ed alle applicazioni:
 - Web
 - dispositivi mobili

- Database

MATERIALE DIDATTICO

4. "Network Security Essentials Applications and Standards", 6th Edition, William Stallings, Published by Pearson (July 13th, 2021) – ISBN-13: 9780134527338, Copyright © 2017
5. "Computer Security: Principles and Practice", 4th Edition, William Stallings and Lawrie Brown, ISBN-13: 9780134794105, ©2018, Pearson
6. "Hacking Exposed", 7th Edition by Stuart McClure, Joel Scambray and George Kurtz Mc Graw Hill ISBN-10: 0071780289, ISBN-13: 978-0071780285
7. Riferimenti ufficiali quali, ad esempio, Requests For Comments (RFC), disponibili sul sito: <https://www.ietf.org>
8. trasparenze ed ulteriore materiale di approfondimento reso disponibile dal docente sui siti ufficiali del corso.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà un approccio pratico e partecipativo per tutta la durata del corso. Gli argomenti del corso saranno presentati in teoria ed ulteriormente analizzati attraverso esempi pratici e dimostrazioni.

Uno strumento fondamentale per il corso sarà rappresentato dal Docker Security Playground (DSP – <https://github.com/giper45/DockerSecurityPlayground>), una architettura open source basata sull'impiego del paradigma a microsistemi ed impiegata per la realizzazione di infrastrutture virtuali appositamente specializzate per lo studio della sicurezza di rete. Un ricco insieme di laboratori di sicurezza pre-configurati è reso disponibile dal docente sotto forma di repository github, raggiungibile all'URL https://github.com/NS-unina/DSP_Repo.

Tutti gli studenti dovranno lavorare, individualmente o in gruppo, ad un progetto pratico focalizzato sullo studio approfondito di uno o più degli argomenti del corso.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione:

- 35% del voto finale dipenderà dalla valutazione del progetto pratico sviluppato dallo studente (individualmente o in gruppo). Tale progetto dovrà essere consegnato al docente (completo di documentazione e comprensivo, qualora presente, del codice sorgente sviluppato) almeno sette giorni prima della data fissata per la prova orale;
- 65% del voto finale dipenderà dall'esito della prova orale.

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"REALTÀ VIRTUALE E COMPUTER GRAPHICS"

SSD IINF-05/A*

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II): II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 6



INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dal Regolamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base di informatica

OBIETTIVI FORMATIVI

L'obiettivo del corso è la conoscenza dei fondamenti teorici della Computer Graphics e delle principali piattaforme hardware e software per la progettazione, realizzazione e fruizione di ambienti di Realtà Virtuale, Aumentata e Mista (VR, AR, MR)--collettivamente definiti Realtà Estesa, o eXtended Reality (XR).

Utilizzando tali conoscenze, è obiettivo del corso anche l'acquisizione delle competenze necessarie per gestire tali scenari, oltre che le modalità di interazione con le stesse.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere e saper comprendere le problematiche relative alla Computer Graphics ed il suo impiego nell'ambito della Realtà Estesa.

Deve dimostrare di conoscere gli aspetti teorici e tecnologici relativi alla visualizzazione di scene tridimensionali ed ambienti realistici, nonché di conoscere le principali problematiche tecniche e le rispettive soluzioni per la realizzazione di esperienze immersive in ambienti virtuali o misti.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di essere in grado di analizzare prodotti e tecnologie per la Realtà Estesa in relazione a specifiche esigenze applicative (addestramento, educazione, divertimento, ricerca) valutandone requisiti e limitazioni, e possibili soluzioni alternative.

Deve altresì dimostrare la capacità di progettare ed implementare in forma prototipale semplici ambienti interattivi di Realtà Virtuale e Realtà Aumentata.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Introduzione alla realtà aumentata e virtuale (AR/VR). Scenari applicativi della realtà virtuale/aumentata (in generale, di "Realtà Estesa", eXtended Reality).

Elementi base della Computer Graphics: pipeline grafica (modellazione e resa).

Computer Graphics per applicazioni AR/VR.

Dispositivi di input/output e tecniche avanzate di input 3D. Geometria per la Computer Graphics. Algoritmi di grafica di base, algoritmi di clipping, algoritmi di scan conversion, algoritmi di real-time rendering, ray tracing.

Modelli di illuminazione e algoritmi di shading. Texture mapping. Modelli mesh poligonali, curve e superfici.

Strumenti per la modellazione geometrica. Ricostruzione di superfici a partire da dati acquisiti tramite scanner 3D. Tecniche di animazione digitale. OpenGL/WebGL, CPU/GPU.

Gestione dell'interazione in AR/VR (selezione e manipolazione, navigazione, controllo del sistema, ingresso simbolico). Piattaforme software per applicazioni VR/AR (sistemi runtime VR, motori real time physics, ambienti virtuali distribuiti, ambienti virtuali collaborativi, game engine).

MATERIALE DIDATTICO

Il materiale didattico è costituito dal libro di testo, integrato da slide, dispense ed articoli forniti dal docente.

Libro di testo: Edward Angel and Dave Shreiner, "Interactive Computer Graphics" 8th Edition, Pearson Education, 2020

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 40% delle ore totali, b) esercitazioni per approfondire praticamente aspetti teorici per circa il 40% delle ore totali, c) seminari per approfondire tematiche specifiche per circa il 20% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

(*) È possibile rispondere a più opzioni

b) Modalità di valutazione: non applicabile

SCHEDA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"SISTEMI MULTIMEDIALI"

SSD IINF-05/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO:

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI.

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:

TELEFONO:

EMAIL:

SI VEDA SITO WEB DEL CORSO DI STUDI

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE):

MODULO (EVENTUALE):

CANALE (EVENTUALE):

ANNO DI CORSO (I, II): I, II

SEMESTRE (I, II): II

CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI

Basi di Dati

EVENTUALI PREREQUISITI

Nessuno

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso fornisce agli studenti le conoscenze e gli strumenti metodologici di base necessari per comprendere e progettare sistemi multimediali. Il corso presenterà modelli, tecniche e tecnologie per la gestione dei dati multimediali insieme agli aspetti architetturali dei sistemi multimediali. Verranno presentate e discusse diverse metodologie e standard per la rappresentazione multimediale. Verranno utilizzati strumenti software per l'implementazione dell'estrazione di descrittori multimediali e il loro utilizzo in diverse applicazioni.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione

Il corso fornisce agli studenti le conoscenze e gli strumenti metodologici necessari per analizzare le problematiche legate alla multimedialità per consentirne la gestione. Questi strumenti consentiranno agli studenti di riconoscere le principali relazioni che intercorrono tra la rappresentazione dei dati multimediali, l'analisi e la gestione degli stessi e di comprenderne gli effetti in termini di efficacia ed efficienza nell'ambito dell'intero processo di gestione multimediale. **Capacità di applicare conoscenza e comprensione**

Il corso fornisce competenze e strumenti metodologici e operativi necessari per applicare concretamente le conoscenze relative all'analisi dei dati multimediali per l'individuazione di tecniche efficaci per rappresentarli e l'uso di tecnologie efficienti per implementare sistemi multimediali.

PROGRAMMA-SYLLABUS

INTRODUZIONE ALLA MULTIMEDIA - Media e multimedia, tipi di media, multimedia computing, componenti di applicazioni multimediali, semiotica, gap semantico. NOZIONI DI BASE SUL MULTIMEDIA - Metadati, formati di documenti, linguaggi di marcatura, proprietà del testo, organizzazione di documenti, formati di immagini, formati audio, formati video, preelaborazione di documenti multimediali. RAPPRESENTAZIONE DI IMMAGINI - Bit Plan, dithering, immagini a 1 bit, 8 bit a 24 bit, Tipi di dati grafici/immagini, tabelle di ricerca colore, formati di file popolari. COLORE IN IMMAGINI E VIDEO - Scienza del colore, modelli di colore in immagini, modelli di colore in video. CONCETTI FONDAMENTALI NEL VIDEO - Video Analogico, Video Digitale, Interfacce Video Display, Video 3D e TV. FONDAMENTI DELL'AUDIO DIGITALE - Digitalizzazione del suono, rapporto segnale-rumore (SNR), rapporto segnale-quantizzazione-rumore (SQNR), quantizzazione lineare e non lineare, filtraggio audio, quantizzazione e trasmissione dell'audio, Pulse Code Modulation, Codifica audio differenziale, codifica predittiva senza perdita, DPCM, DM, ADPCM. COMPRESSIONE DEI DATI - Compressione senza perdita, basi della teoria dell'informazione, Run-Length Coding, Variable-Length Coding, codifica basata su dizionario, codifica aritmetica (cenni), compressione con perdita, misure di distorsione, rate-distortion theory, quantizzazione, transform coding, codifica basata su Wavelet, Wavelet packets, Embedded Zerotree dei coefficienti Wavelet, Set Partitioning in Hierarchical Trees (cenni). STANDARD DI COMPRESSIONE DELLE IMMAGINI - Lo standard JPEG, Passaggi principali nella compressione dell'immagine JPEG, modalità JPEG, Bitstream JPEG, lo standard JPEG2000, passaggi principali della compressione dell'immagine JPEG2000, adattamento di EBCOT a JPEG2000, ROI, confronto delle prestazioni di JPEG e JPEG2000. INTRODUZIONE ALLA COMPRESSIONE VIDEO - Compressione video basata sulla compensazione del movimento, ricerca di vettori di movimento (cenni), H.261, H.263 (cenni), MPEG-1, 2, 4, 7 e 21. COMPRESSIONE AUDIO MPEG - Psicoacustica, Mascheratura di frequenze, Mascheratura temporale, Audio MPEG, Livelli MPEG, Strategia audio MPEG, Algoritmo di compressione audio MPEG. DESCRITTORI MULTIMEDIALI - Istogrammi di colore, Layout di colore, Caratteristiche delle Texture, Analisi multirisoluzione (cenni), Caratteristiche della forma, Rappresentazione della forma, SIFT, SURF, Caratteristiche dell'audio, Video (cenni). ARCHITETTURA DEI SISTEMI MULTIMEDIALI - Gestione dei contenuti multimediali, Sistemi di Retrieval delle informazioni multimediali (MIRS), Valutazione dei sistemi, Database multimediali, Indici per dati multimediali.

MATERIALE DIDATTICO

Libri di testo: Ze-Nian Li , Mark S. Drew, e al., Fundamentals of Multimedia, 2ed, Springer, 2014.

Vittorio Castelli and Lawrence D. Bergman, editors. Image Databases. Search and Retrieval of Digital Imagery. Wiley, 2002

Slides del Corso.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali, esercitazioni, seminari, software specialistici per l'estrazione di descrittori multimediali ed applicazioni (OPENCV: Open Source Computer Vision Library)

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a) Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
discussione di elaborato progettuale	1
orale	1

b) Modalità di valutazione:

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

"COMUNICAZIONI DIGITALI"

SSD IINF-03/A

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO: CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:
TELEFONO:
EMAIL:

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE): NO
MODULO (EVENTUALE): N/A
CANALE (EVENTUALE): N/A
ANNO DI CORSO (I, II, III): I
SEMESTRE (I, II): I
CFU: 9

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

È consigliata la conoscenza dei concetti di base della teoria della probabilità e delle principali metodologie di analisi ed elaborazione dei segnali deterministici ed aleatori, sia nel dominio del tempo che in quello della frequenza.

OBIETTIVI FORMATIVI

L'insegnamento si propone di fornire agli studenti le nozioni specialistiche per il progetto e la valutazione delle prestazioni dei sistemi di comunicazione digitale operanti sui principali mezzi di trasmissione (cavi in rame, fibra ottica e canale wireless), con riferimento sia alla modulazione a singola portante che a quella multiportante.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve conoscere e saper comprendere le problematiche relative all'analisi e alla progettazione di apparati per la generazione, la trasmissione e la ricezione dei segnali di informazione modulati digitalmente.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper dimensionare un sistema di comunicazione digitale tenendo conto congiuntamente sia dei requisiti in termini di qualità del servizio che delle limitazioni in termini di banda, potenza e complessità.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Introduzione alle comunicazioni digitali. Caratterizzazione e modelli dei principali mezzi trasmissivi (cavi in rame, fibra ottica e canale wireless). Modulazione/demodulazione coerente e non coerente per trasmissioni digitali. Analisi delle prestazioni di un sistema di comunicazione digitale. Codifica di canale. Sincronizzazione. Equalizzazione nel dominio del tempo e nel dominio della frequenza. Modulazione multiportante. Attività di laboratorio in ambiente Matlab.

MATERIALE DIDATTICO

Libri di testo:

U. Mengali, M. Morelli, *Trasmissione Numerica*, McGraw-Hill, 2001

A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005

S. Kumar and M.J. Deen, *Fiber optic communications: Fundamentals and applications*, John Wiley & Sons, 2014

B. Sklar and P.K. Ray, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Pearson Education, 2014

S. Haykin, *Digital Communication Systems*, John Wiley & Sons, 2014

Dispense:

G. Gelli, *Modulazione multiportante: Sistemi OFDM e DMT*, Dicembre 2020

G. Gelli, *Tecnica SC-FDE*, Dicembre 2020

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa l'85% delle ore totali; b) laboratorio Matlab per circa il 15% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
Altro	

SCHEMA DELL'INSEGNAMENTO (SI)

COMUNICAZIONI WIRELESS

SSD TELECOMUNICAZIONI (IINF-03/A)

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI STUDIO: INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI E DEI MEDIA DIGITALI (P49)

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

INFORMAZIONI GENERALI - DOCENTE

DOCENTE:
TELEFONO:
EMAIL:

INFORMAZIONI GENERALI - ATTIVITÀ

INSEGNAMENTO INTEGRATO (EVENTUALE): NO
MODULO (EVENTUALE): N/A
CANALE (EVENTUALE): N/A
ANNO DI CORSO: II
SEMESTRE: I
CFU: 6

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI

Nessuno

EVENTUALI PREREQUISITI

È consigliata la conoscenza dei concetti di base delle comunicazioni digitali.

OBIETTIVI FORMATIVI

L'insegnamento si propone di fornire agli studenti le nozioni specialistiche sulle tecniche avanzate di ritrasmissione dell'informazione su canali wireless, con attenzione al sistema 5G e alle sue future evoluzioni.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve conoscere e saper comprendere le problematiche relative alle comunicazioni digitali a larga banda su canale wireless in diversi scenari di mobilità e con diverse tipologie di accesso. Deve inoltre dimostrare di saper mettere in relazione i limiti imposti dal canale wireless in differenti modalità operative con le relative contromisure adottabili in trasmissione e/o ricezione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper risolvere problemi concernenti la progettazione di un sistema di comunicazione wireless 5G/6G, utilizzando tecnologie radio avanzate basate su antenne multiple, elaborazione di segnali ad alta frequenza e tecniche di accesso multiplo massivo.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Introduzione alle comunicazioni wireless 5G/6G. Caratterizzazione del canale wireless a larga banda. Diversità spaziale. Array processing. Capacità del canale wireless. Sistemi multiple-input multiple-output (MIMO) e tecniche di codifica spazio-temporali. Tecniche di beamforming/precoding. Accesso ortogonale e non ortogonale al canale. Ambienti di propagazione smart basati su superfici intelligenti riconfigurabili (RIS). Attività di laboratorio in ambiente Matlab/Software-Defined Radio (SDR).

MATERIALE DIDATTICO

A.Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005.

D.Tse and P. Viswanatah, *Fundamentals of Wireless Communication*, Cambridge University Press, 2012.

H. L. Van Trees, *Optimum Array Processing*, Wiley, 2002.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 75% delle ore totali; b) laboratorio per circa il 25% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

a. Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	