



## Regolamento Ingegneria delle Telecomunicazioni

Corso di studi: Ingegneria delle Telecomunicazioni (Laurea magistrale)

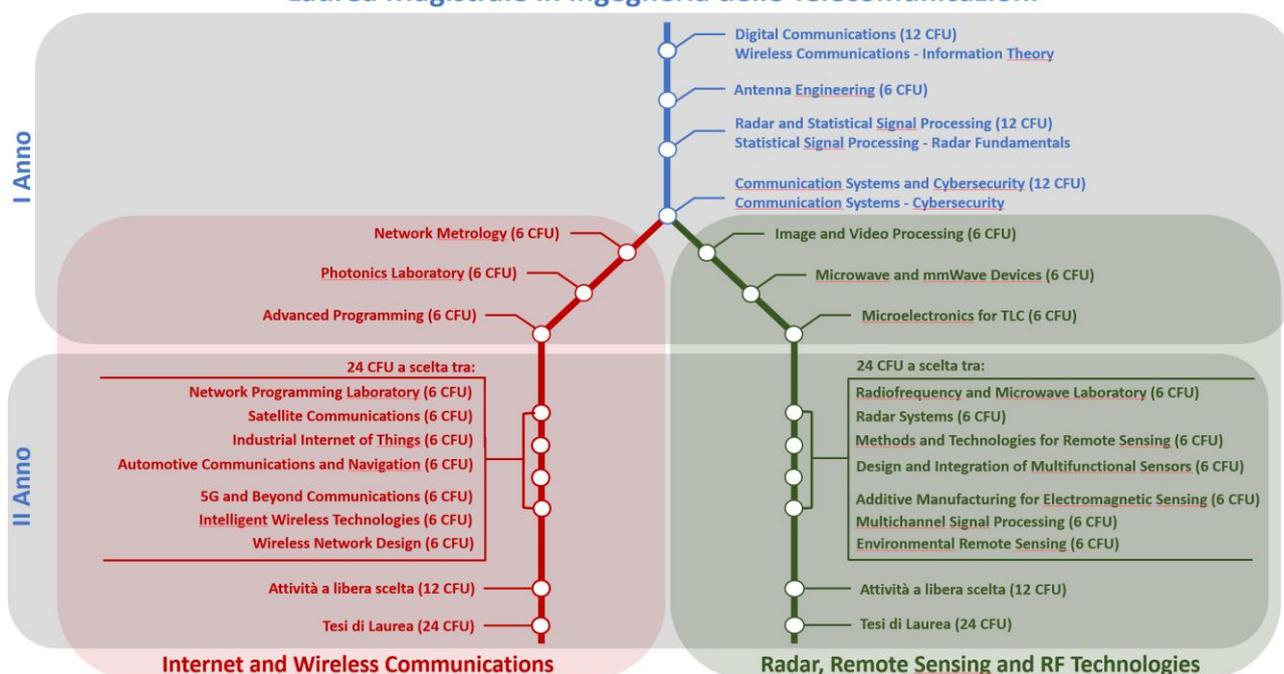
- Denominazione: Ingegneria delle Telecomunicazioni
- Dipartimento : INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE
- Classe di appartenenza: LM-27 INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI
- Interateneo: No
- Interdipartimentale: No
- Obiettivi formativi: Il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni intende formare un Ingegnere in grado di progettare sia l'architettura di un sistema di telecomunicazioni, sia singoli apparati o sottosistemi per applicazioni che vanno da Internet al telerilevamento. Tale figura professionale è orientata specificamente verso l'innovazione dei sistemi, degli apparati e dei servizi di telecomunicazione, che risultano spesso caratterizzati da problematiche interdisciplinari (elaborazione e trasmissione del segnale e delle immagini, architettura della rete, sistemi informatici, multimedialità, antenne, componenti e sistemi a radiofrequenza).

Il corso di laurea magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni si articola in due curricula dai titoli: "Internet and Wireless Communications" e "Radar, Remote Sensing and RF Technologies".

I corsi del I anno per entrambi i curricula sono costituiti da insegnamenti che estendono e approfondiscono le nozioni di carattere generale nel settore delle Telecomunicazioni e settori affini che il laureato di primo livello in Ingegneria delle Telecomunicazioni già possiede. La didattica è impartita richiamando i concetti di base delle varie discipline ingegneristiche consentendo anche l'integrazione di studenti provenienti da Classi triennali diverse, sia nell'ambito di Ingegneria, che di altre Aree.

I due curricula hanno 42 CFU a comune nel I anno, come da figura allegata:

## Laurea Magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni



I 42 CFU a comune consistono nei corsi:

- 1) Digital Communications (12 CFU), diviso nei due moduli di Wireless Communications (6CFU) e Information Theory (& CFU);
- 2) Antenna Engineering (6 CFU);
- 3) Radar and Statistical Signal Processing (12 CFU), diviso nei due moduli di Statistical Signal Processing (6 CFU) e Radar Fundamentals (6 CFU);
- 4) Communication Systems e Cybersecurity (12 CFU), diviso nei due moduli di Communication Systems (6 CFU) e Cybersecurity (6 CFU)

Completano il I anno i corsi di Network Metrology (6 CFU), Photonics Laboratory (6 CFU) e Advanced Programming (6 CFU) per il curriculum "Internet and Wireless Communications". Per il curriculum "Radar, Remote Sensing and RF Technologies" gli studenti dovranno invece sostenere gli esami di Image and Video Processing (6 CFU), Microwave and mmWave Devices (6 CFU) e Microelectronics for Telecommunications (6 CFU).

Al II anno del curriculum "Internet and Wireless Communications" gli studenti dovranno maturare 24 CFU scegliendo 4 corsi tra i 7 del gruppo A, ognuno di 6 CFU:

### Gruppo A

- 1a) Network Programming Laboratory
- 2a) Satellite Communications
- 3a) Industrial Internet of Things
- 4a) Automotive Communications and Navigation
- 5a) 5G and Beyond Communications
- 6a) Intelligent Wireless Technologies
- 7a) Wireless Network Design.

Al II anno del curriculum "Radar, Remote Sensing and RF Technologies" gli studenti dovranno maturare 24 CFU scegliendo 4 corsi tra i 7 del gruppo B, ognuno di 6 CFU:

### Gruppo B

- 1b) Radiofrequency and Microwave Laboratory
- 2b) Radar Systems
- 3b) Methods and Technologies for Remote Sensing
- 4b) Design and Integration of Multifunctional Sensors
- 5b) Additive Manufacturing for Electromagnetic Sensing
- 6b) Multichannel Signal Processing
- 7b) Environmental Remote Sensing

Inoltre, il percorso formativo è completato dai crediti (12 CFU) a scelta dello studente, consentendo la personalizzazione del Piano di Studio.

Per i 12 CFU a scelta, pur lasciando libertà allo studente, si suggeriscono i seguenti esami.

Curriculum "Internet and Wireless Communications":

Esami del Gruppo B

Image and Video Processing

Microwave and mmWave Devices

Microelectronics for Telecommunications.

Curriculum Radar, Remote Sensing and RF technologies:

Esami del Gruppo A

Network Metrology,

Photonics Laboratory

Advanced Programming.

Elemento fondamentale del processo formativo è poi costituito dalle attività che conducono alla Prova Finale consistente nella definizione di una Tesi di Laurea quale descrizione di una importante attività di progettazione o di ricerca cui sono attribuiti 24 CFU.

I laureati nei corsi di laurea magistrale della classe devono:

- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi più complessi dell'ingegneria, che possono richiedere approcci interdisciplinari;
- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'ingegneria delle telecomunicazioni, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere, anche in modo innovativo, problemi complessi anche di tipo interdisciplinare;
- essere capaci di ideare, pianificare, progettare e gestire sistemi, processi e servizi complessi e/o innovativi;
- essere capaci di progettare e gestire esperimenti di elevata complessità;
- essere dotati di conoscenze di contesto;
- avere conoscenze nel campo dell'organizzazione aziendale (cultura d'impresa) e dell'etica professionale;
- essere in grado di utilizzare fluentemente la lingua inglese, in forma scritta e orale, con riferimento anche ai lessici più strettamente disciplinari.

I principali sbocchi occupazionali del corso di laurea magistrale in ingegneria delle Telecomunicazioni sono quelli dell'innovazione e dello sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di sistemi complessi, sia nella libera professione sia nelle imprese manifatturiere o di servizi che nelle amministrazioni pubbliche. I laureati magistrali potranno trovare occupazione presso imprese di progettazione, produzione ed esercizio di apparati, sistemi e infrastrutture riguardanti l'acquisizione e il trasporto delle informazioni e la loro utilizzazione in applicazioni

telematiche; imprese pubbliche e private di servizi di telecomunicazione e telerilevamento terrestri o spaziali; enti di controllo del traffico aereo, terrestre e navale; enti e aziende attive nel settore della compatibilità elettromagnetica, dei sistemi radio, ottici, a microonde e ad onde millimetriche.

- **Numero stimato immatricolati:** 40
- **Requisiti di ammissione e modalità di verifica:** Per essere ammessi al Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni Classe LM-27 occorre essere in possesso della laurea o del diploma universitario di durata triennale, ovvero di altro titolo di studio conseguito all'estero e riconosciuto idoneo. Il candidato deve presentare domanda con allegati almeno il certificato di laurea o equivalente, e i programmi degli esami sostenuti. In base ai criteri di seguito illustrati vengono stabiliti i requisiti curriculari e l'adeguatezza della personale preparazione per l'accesso al Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni, Classe LM-27, ai sensi dell'art. 6, comma 2, del D.M. 270/2004. L'ammissione viene decisa sulla base dell'esistenza di entrambi i requisiti curriculari e di preparazione. Il Consiglio di Corso di Studio (CDS) nomina una Commissione Istruttoria di Valutazione (CIV) composta da due o più docenti con il compito di:
  - esaminare le domande di ammissione,
  - valutare i curricula dei candidati,
  - verificare il possesso dei requisiti curriculari e personali,
  - proporre al CDS l'ammissione o la non ammissione del candidato,
  - indicare le eventuali modalità per l'ottenimento dei requisiti mancanti.

#### REQUISITI CURRICULARI

Il candidato che ha acquisito CFU nei settori scientifico-disciplinari (SSD) sotto riportati soddisfa i requisiti curriculari.

SSD Gruppo 1:

MAT/01, MAT/02, MAT/03, MAT/05, MAT/06, MAT/07, MAT/08, MAT/09, FIS/01, FIS/02, FIS/03:  $\geq 34$  CFU

SSD Gruppo 2:

ING-INF/01, ING-INF/02, ING-INF/03, ING-INF/04, ING-INF/05, ING-INF/06, ING-IND/31, ING-IND/35, INF/01:  $\geq 60$  CFU

Totale :  $\geq 94$  CFU

In caso di candidato con titolo acquisito all'estero, la CIV valuterà i requisiti curriculari sulla base della durata temporale dei singoli insegnamenti e dei programmi dei relativi esami sostenuti.

È inoltre richiesta una adeguata conoscenza della lingua inglese equiparabile almeno di livello B2 del Quadro Comune Europeo di riferimento per le lingue. Il possesso di tale requisito dovrà essere certificato dagli studenti in fase di iscrizione o, in assenza di una certificazione, sarà verificato tramite colloquio o esame del curriculum durante la verifica della personale preparazione dello studente.

#### REQUISITI DI PREPARAZIONE PERSONALE

In accordo con il Regolamento Didattico di Ateneo, la CIV:

- può proporre al CDS di accettare ovvero di respingere la domanda di iscrizione del Candidato sulla base della valutazione della documentazione presentata con la domanda di ammissione;

- può proporre al CDS di rimandare il candidato al colloquio di ammissione indicando il programma su cui verterà il colloquio, secondo la procedura descritta di seguito.

#### Colloquio di ammissione

Il colloquio di ammissione ha lo scopo di accertare che il candidato possieda la preparazione necessaria per affrontare proficuamente gli studi magistrali. I colloqui di ammissione si svolgono in almeno due sessioni nel corso dell'anno accademico. Al candidato è assegnata, con provvedimento del Presidente del CDS, su delega del Direttore, una specifica commissione esaminatrice composta da due o più docenti. Il programma del colloquio, individuato dalla CIV, sarà preventivamente comunicato al candidato dal Presidente del CDS.

Al termine del colloquio la commissione esaminatrice formula un giudizio definitivo di idoneità oppure di non idoneità all'ammissione, eventualmente evidenziando i requisiti mancanti.

- **Specificità CFU:** Il Corso di Studio adotta, nel definire il calendario delle lezioni, delle esercitazioni e dei laboratori, il seguente criterio: per le attività formative aventi la tipologia di lezione, esercitazione o laboratorio il lavoro complessivo dello studente deve essere svolto mediamente per 2/5 seguendo le attività in aula e per 3/5 dedicandosi allo studio individuale degli argomenti trattati. Per esempio, per un corso di 6 CFU, le ore di didattica frontale (lezione/esercitazione/laboratorio) sono 60. Tutte le attività formative sono basate su moduli da 3, 6, 9 e 12 CFU. A ciascun corso, ad esclusione dei corsi di lingua e delle attività diverse (stage, tirocini, prove finali), è attribuito un minimo di 6 CFU. I corsi integrati sono composti da non più di due moduli didattici, relativi a discipline affini.
- **Modalità determinazione voto di Laurea:** La prova finale mira a valutare la capacità del candidato di svolgere in completa autonomia l'approfondimento di un'attività di progettazione o di ricerca, documentata in una dissertazione scritta. In un anno accademico sono previste almeno 6 sessioni di laurea (art. 25 del Regolamento Didattico di Ateneo) da tenersi prima delle relative proclamazioni ufficiali. La prova finale consiste nella esposizione pubblica della propria attività di tesi davanti ad una Commissione costituita da 5 docenti e presieduta dal Presidente del Corso di Laurea Magistrale. È prevista la possibilità di allargare la Commissione a membri esterni qualora il laureando abbia svolto la sua attività presso industrie o enti di ricerca esterni al Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione. La Commissione ha il compito di valutare la bontà del lavoro effettuato dal laureando, il grado di autonomia raggiunto e la capacità di esporre sia in forma orale che scritta quanto studiato e realizzato. Una volta ascoltata la presentazione del laureando, la Commissione si ritira per formulare un giudizio ed esprimere un voto finale. Sebbene quest'ultimo sia da considerarsi formalmente una prerogativa della Commissione, viene comunque adottato un metodo di calcolo in modo da tenere in debito conto le votazioni riportate nei singoli esami di profitto.

Per la determinazione del voto di laurea, espresso in 110esimi, si usano i seguenti criteri: la media è calcolata pesando le votazioni riportate nei singoli corsi sulla base dei relativi crediti formativi universitari (media pesata sui CFU); le votazioni con lode ottenute nei corsi sono contate come 33/30; l'attribuzione della votazione 110/110 richiede una media non inferiore a 27/30; l'attribuzione della votazione 110/110 e lode richiede una media non inferiore a 28/30; la commissione attribuisce un punteggio fino ad un massimo di 11 punti.

- **Attività di ricerca rilevante:** La ricerca nel settore delle telecomunicazioni è svolta da un gruppo di ricercatori tra i più numerosi nel panorama accademico nazionale,

composto, con vari gradi di coinvolgimento e di responsabilità, da professori ordinari e straordinari, professori associati e ricercatori universitari. L'attività è ospitata per la massima parte dal Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione ove i vari ricercatori si distribuiscono in ben vari laboratori distinti e indipendenti. La ricerca si svolge attraverso progetti finanziati da enti pubblici (MIUR, CNR, Agenzia Spaziale Italiana, Agenzia Spaziale Europea, Commissione Europea, Regione Toscana solo per citare i principali) e privati (Ericsson, Juniper, Leonardo, Telecom Italia, IDS, Intecs, STMicroelectronics, e una miriade di altri) e copre praticamente tutti i temi di maggiore importanza nel settore: Reti telematiche, Tecnologie di Trasmissione, Elaborazione del Segnale e delle Immagini, Radar e Telerilevamento, Elettromagnetismo. Alcuni docenti, oltre a ricoprire ruoli di coordinamento in ricerche a carattere nazionale ed internazionale, svolgono attività di esperto nella revisione di progetti di ricerca per conto dei Ministeri Italiani, della Commissione Europea e di altri enti pubblici (Regioni, Fondazioni). Le relazioni internazionali sono continue ed intense, anche attraverso strumenti specifici di cooperazione come le Reti di Eccellenza della Commissione Europea. I risultati della ricerca vengono pubblicati sulle più accreditate riviste internazionali e comunicati ai migliori congressi internazionali. Alcuni dei docenti/ricercatori hanno ricevuto onorificenze accademiche derivanti da attività di ricerca (nel gruppo vi sono 6 IEEE Fellow), hanno svolto o svolgono ruoli di primo piano nei comitati editoriali della più affermate riviste scientifiche, e hanno contribuito all'organizzazione di importanti congressi a livello internazionale.

- **Rapporto con il mondo del lavoro:** La politica di rapporti con il mondo del lavoro si concretizza attraverso costanti scambi e collaborazioni con istituzioni, aziende ed enti locali, regionali e nazionali, del settore pubblico e privato, strettamente connessi all'ambito dei contenuti del CdL, ed identificati come contesti specifici per un possibile inserimento professionale dei laureati. Tali realtà del mondo del lavoro sono inoltre tenute in considerazione come fonte di personale adeguato per eventuali seminari di approfondimento didattico, conferenze, o supporto alla docenza. I contatti sono promossi dalla Presidenza del CdLM e mantenuti a livello di Dipartimento, di CdL e di singoli docenti soprattutto per quanto riguarda l'organizzazione di stage per laureandi e laureati. Inoltre le aziende garantiscono la loro partecipazione ogni qualvolta il CdL organizza degli incontri con gli studenti. Nell'ambito di tali incontri le stesse aziende sono spesso invitate a presentare la loro attività oppure ad effettuare preselezioni ai fini professionali.

I numerosi contatti che il Corso di Laurea ha concretizzato nel corso degli anni comprendono aziende dei seguenti settori:

- - industrie manifatturiere di apparati di Telecomunicazioni, quali telefoni cellulari, radar, modem, router, terminali radiomobili e satellitari, sistemi di elaborazione di segnali e immagini;
  - imprese di servizi;
  - enti pubblici e studi professionali interessati al monitoraggio, alla protezione ambientale e alla compatibilità elettromagnetica;
  - aziende di telematica e aziende che operano nel settore della multimedialità;
  - industrie che producono componenti per radiocomunicazione;
  - attività di supporto alla ricerca nelle Università, enti di ricerca pubblici e privati, divisioni ricerca e sviluppo delle imprese.

Per quanto riguarda la valutazione dei tempi di inserimento dei laureati di II livello nel

mondo del lavoro e la congruenza tra ruoli svolti in azienda e formazione ricevuta, l'inchiesta svolta dall'Università di Pisa tra i laureati specialistici in Ingegneria delle Telecomunicazioni ha fornito risultati lusinghieri. In particolare, il 90% dei laureati è occupato a 12 mesi dal conseguimento del titolo; il 7% dei laureati prosegue la propria formazione frequentando presumibilmente un Dottorato di Ricerca; il 3% soltanto è ancora in cerca di occupazione.

Il 63% degli occupati svolge professioni intellettuali di elevata specializzazione o compiti di tipo tecnico.

Tutti gli occupati svolgono un lavoro a tempo pieno, la maggior parte nel settore dell'ICT (Information and Communication Technologies).

L'85% dei laureati ritiene che il titolo di studio conseguito sia necessario per l'attività lavorativa attualmente svolta.

Il 70% degli occupati ritiene che le mansioni svolte sul posto di lavoro siano coerenti con il titolo conseguito e le competenze apprese ed il 74% si ritiene soddisfatto della coerenza degli studi con l'occupazione attuale.

Infine, il 93% si ritiene soddisfatto dell'occupazione attuale e il 75% è ottimista per quanto riguarda la possibilità di sviluppo della carriera.

**Informazioni aggiuntive:** Gli studenti iscritti al Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni, che abbiano conseguito almeno 18 CFU sostenendo esami tra quelli di seguito elencati, riceveranno da parte del Dipartimento un attestato che certifica un percorso di competenze su tematiche attinenti Industria 4.0

Additive manufacturing for Electromagnetic Sensing (6 CFU)

Industrial Internet of Things (6 CFU)

5G and Beyond Communications (6 CFU)

Communication Systems and Cybersecurity (12 CFU)

Radar Systems (6 CFU)

- Gli studenti avranno la facoltà di scegliere i corsi abilitanti a Industria 4.0 anche negli analoghi elenchi definiti dagli altri corsi di studio magistrali afferenti al Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione. Il Corso di Studio non garantisce che per gli studenti che intendano scegliere corsi compresi nei panieri predisposti da altri corsi di studio magistrali siano assicurate tutte le nozioni propedeutiche necessarie ad avvalersi pienamente del corso scelto. Potrebbe pertanto, in tal caso, essere necessario uno studio autonomo ed aggiuntivo dello studente per colmare eventuali lacune pregresse.

Attività formative definite nel CDS Ingegneria delle Telecomunicazioni

### **Additive Manufacturing for Electromagnetic Sensing**

*Obiettivi formativi:* Il corso affronta aspetti teorici ed implementativi per lo sfruttamento di tecnologie addittive (2D e 3D) allo scopo di progettare e realizzare sensori, dispositivi indossabili ed in generale device per l'IoT. L'insegnamento affronta aspetti quali i principi di funzionamento dei sensori, l'utilizzo dei processi di stampa 2D e 3D nonché la caratterizzazione di materiali ingegnerizzati con particolare attenzione alle proprietà elettriche e magnetiche alle radiofrequenze.

*Obiettivi formativi in inglese:* The course deals with theoretical and implementation aspects for the exploitation of additive technologies (2D and 3D) for designing and manufacturing sensors, wearable devices and IoT devices. The course addresses aspects such as sensor operation principles, the use of 2D and 3D printing processes as well as the characterization of engineered materials with particular attention to electrical and magnetic properties at radio frequencies.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: nessuna.
- Modalità di verifica finale: Prova orale e progetto assegnato dal docente.
- Lingua ufficiale: Italiano

<b>MODULO</b>	<b>CFU</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Caratteristica</b>	<b>Ambito</b>
Additive Manufacturing for Electromagnetic Sensing	6	ING/INF02	Caratterizzante	Lezioni frontali +laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni

### **Advanced Programming**

*Obiettivi formativi:* Il corso si prefigge lo scopo di presentare allo studente principi e tecniche di programmazione moderna in un linguaggio evoluto quale, per esempio, il C++ e il Java.

*Obiettivi formativi in Inglese:* The course aims at providing the student with modern programming principles and techniques in an advanced language such as, for instance, C++ and Java.

- CFU: 6
- Reiterabilità: 1
- Propedeuticità: nessuna
- Modalità di verifica finale: Scritto e orale
- Lingua ufficiale: Italiano

<b>MODULO</b>	<b>CFU</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Caratteristica</b>	<b>Ambito</b>
Advanced Programming	6	ING/INF05	Affini o integrative	Lezioni frontali +esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### **Antenna Engineering**

*Obiettivi formativi:* L'insegnamento ha lo scopo di presentare le tecnologie utilizzate nella realizzazione dei sistemi radianti dei sistemi di comunicazioni wireless, degli apparati radar e per il remote sensing. Verranno inoltre illustrati gli obiettivi e i criteri di dimensionamento degli array di antenne, e il loro utilizzo nei phased array, stazioni radio base "smart", sistemi MIMO e sistemi in diversità.

*Obiettivi formativi in inglese:* The aim of the course is to present the technologies used in the realization of the radiating systems for wireless communications, radar equipment and for remote sensing. Design criteria for antenna arrays, phased arrays, "smart" radio base stations, MIMO and diversity systems will also be illustrated.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Nessuna
- Modalità di verifica finale: Prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

<b>MODULO</b>	<b>CFU</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Caratteristica</b>	<b>Ambito</b>
Antenna Engineering	6	ING/INF02	Affini o integrative	Lezioni frontali +esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### **Automotive Communications and Navigation**

*Obiettivi formativi:* Il corso mira a introdurre l'architettura dei sistemi satellitari di posizionamento e navigazione GPS e Galileo, nonché i principali standard per le comunicazioni veicolari (V2V) e da veicolare alla infrastruttura cellulare (V2X) e le relative integrazioni.

*Obiettivi formativi in inglese:* The course aims to introduce the architecture of GPS and Galileo positioning and navigation satellite systems, and also the main standards for vehicular communications, and vehicular-to-everything (V2X), and their related integrations.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Digital Communications (facoltativa)
- Modalità di verifica finale: Prova orale.
- Lingua ufficiale: Italiano

<b>MODULO</b>	<b>CFU</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Caratteristica</b>	<b>Ambito</b>
Automotive Communications and Navigation	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali	Ingegneria delle telecomunicazioni

**Communication systems and Cybersecurity** è diviso nei due moduli di **Communication systems** (6 CFU) e **Cybersecurity** (6 CFU)

*Obiettivi formativi:* L'insegnamento **Communication Systems** ha lo scopo di presentare allo studente una panoramica delle problematiche e delle applicazioni relative alle comunicazioni terrestri di tipo wireless, wired e su fibra ottica. Inizialmente viene richiamata la modellistica di base dei canali radio dispersivi nel tempo e nella frequenza, identificando gli scenari di maggiore interesse per le applicazioni indoor e outdoor. Successivamente si discutono i principali aspetti progettuali relativi alla pianificazione geografica di una rete cellulare. Vengono quindi tratteggiate le caratteristiche delle reti cellulari di seconda (GSM), terza (UMTS) e quarta generazione (LTE), ponendo l'accento sulle problematiche relative all'interfaccia radio. Si accenna inoltre al nuovo sistema di quinta generazione (NR). Successivamente, si forniscono nozioni sugli standard delle famiglie IEEE 802.11 (WiFi). Si descrive quindi la tecnologia per la rete di accesso in rame (xDSL). Infine si tratteggiano le caratteristiche principali dei link su fibra ottica.

L'insegnamento di **Cybersecurity** ha lo scopo di fornire agli studenti le conoscenze di base relative ai fondamenti matematici della crittografia e ai principali algoritmi utilizzati per fornire i vari servizi di sicurezza (autenticazione, confidenzialità e integrità dei dati, firma digitale). Inoltre lo studente acquisirà alcune conoscenze più applicative, con particolare riferimento a IPsec, IDS e firewall.

*Obiettivi formativi in Inglese:* The **Communication Systems** course aims to offer to the student an overview of the problems and applications relating to wireless, wired and optical fiber communications. Initially, the basic modeling of radio channels dispersed over time and frequency is recalled, identifying the scenarios of greatest interest for indoor and outdoor applications. Subsequently, the main design aspects relating to the geographical planning of a cellular network are discussed. The characteristics of the second (GSM), third (UMTS) and fourth (LTE) generation cellular networks are then outlined, with an emphasis on problems relating to the radio interface and a mention to the new radio (NR) fifth generation system. We will also learn about IEEE 802.11 (WiFi) family standards. The technology for the copper access network (xDSL) is described. Finally, the main characteristics of the links on optical fiber are outlined.

The **Cybersecurity** course aims to provide students with a basic knowledge of the mathematical foundations of cryptography and the main algorithms used to offer various security services (authentication, confidentiality and data integrity, digital signature). In addition, the student will acquire some knowledge of practical applications, with particular reference to IPsec, IDS and firewall.

- CFU: 12
- Retearabilità: 1
- Propedeuticità: Digital Communications (facoltativa)
- Modalità di verifica finale: prova orale per entrambi i moduli.
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Communication Systems	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

Cybersecurity	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni
---------------	---	-----------	-----------------	------------------------------------	---------------------------------------

## Design and Integration of Multifunctional Sensors

*Obiettivi formativi:* L'insegnamento ha lo scopo di fornire agli studenti conoscenze avanzate relative alle problematiche di integrazione e dislocamento di sistemi complessi di telecomunicazione anche multifunzione in ambiente operativo, con particolare riferimento ai parametri di progetto elettromagnetico e ai fattori fisici che determinano la qualità dei segnali elettromagnetici e le performance dei sistemi.

*Obiettivi formativi in inglese:* The course aims at providing advanced knowledge of integration problems on complex telecommunication systems, including multifunction systems in the operating environment, with particular reference to the electromagnetic design parameters and the physical factors that determine the quality of the electromagnetic signals and the performance of the systems.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Antenna Engineering (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale.
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Design and Integration of Multifunctional Sensors	6	ING/INF02	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

**Digital Communications** è diviso nei due moduli di **Information Theory** (6 CFU) e **Wireless Communications** (6 CFU)

*Obiettivi formativi:* il modulo di **Information Theory** fornisce gli elementi fondamentali della Teoria dell'Informazione di Shannon, con applicazioni nei campi della protezione dell'informazione digitale e della codifica con perdita e senza perdita dei dati digitali (source coding).

L'obiettivo del modulo di **Wireless Communications** è quello di introdurre le tecnologie fondamentali per le comunicazioni wireless, in particolare per sistemi con antenne multiple. Verranno affrontati i seguenti argomenti: tecniche di accesso multiplo in sistemi SISO, modellizzazione dei canali radio per sistemi con antenne multiple, tecniche di beamforming per sistemi in line-of-sight, tecniche di trasmissione e ricezione in diversità, codici spazio-tempo, sistemi di comunicazione con antenne multiple, tecniche di accesso a divisione di spazio.

*Obiettivi formativi in Inglese:* the **Information Theory** module provides the fundamental elements of Shannon's Information Theory, with applications in the fields of digital data information protection and lossless and lossy coding of digital data (source coding).

The goal of the **Wireless Communications** module is to introduce the fundamental technologies for wireless communications, in particular for systems with multiple antennas. The following topics will be addressed: multiple access techniques in SISO systems, modeling of radio channels for systems with multiple antennas, beamforming techniques for line-of-sight systems, transmission and reception techniques in diversity, space-time codes, systems of communication with multiple antennas, space division access techniques.

- CFU: 12
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Nessuna
- Modalità di verifica finale: prova orale per entrambi i moduli.
- Lingua ufficiale: Italiano

<b>MODULO</b>	<b>CFU</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Caratteristica</b>	<b>Ambito</b>
Information Theory	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni
Wireless Communications	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

### **Environmental Remote Sensing**

*Obiettivi formativi:* il corso, a prosecuzione di una formazione nel campo radar e remote sensing di taglio tecnologico e di processing di primo livello, si prefigge di fornire un'introduzione alla sintesi di applicazioni e servizi di telerilevamento per l'osservazione della Terra, il monitoraggio ambientale, la prevenzione e la gestione di rischi naturali, basati su sistemi elettro-ottici e a microonde. Lo studente apprenderà relativi strumenti metodologici, in una visione complessiva della definizione e valutazione dell'intera catena di processing; forte orientamento è a metodi avanzati di estrazione di informazioni fisiche specifiche a livello di utente finale (prodotti di imaging geo-informativi), per le principali e rappresentative applicazioni nelle varie aree di monitoraggio ambientale, e a nuovi trend di sviluppo (comprese missioni ASI/ESA e programmi EU).

*Obiettivi formativi in inglese:* The course, as a follow-on of a training in the radar and remote sensing field of technological and first-level processing kind, targets to furnish an introduction to the synthesis of remote sensing applications and services for Earth Observation, environmental monitoring, prevention and handling of natural risks, based on electro-optical and microwave systems. Students will learn pertinent methodological tools, in a global vision of definition and evaluation of the entire processing chain; emphasis is on advanced methods of extraction of specific physical information at the end user level (geo-information imaging products), for the main and representative applications in various areas of environmental monitoring, and on new development trends (including ASI/ESA satellite missions and EU service programs).

- CFU: 6

- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Radar and Statistical Signal Processing (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Environmental Remote Sensing	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni

## 5G and Beyond Communications

*Obiettivi formativi:* L'insegnamento ha lo scopo di fornire agli studenti le conoscenze di base relative ai sistemi cellulari di quinta (e futura) generazione, illustrando le principali tecniche di comunicazione impiegate per la trasmissione dell'informazione così come le principali architetture di rete. Il corso è completato da esercitazioni in Matlab.

*Obiettivi formativi in inglese:* The course aims to provide students with basic knowledge of fifth (and future) generation of cellular networks, illustrating the main communication techniques used for the transmission of information as well as the main network architectures. The course is completed by exercises in Matlab.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Digital Communications (consigliata) e Communication Systems and Cybersecurity (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale.
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
5G and Beyond Communications	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

## Image and Video Processing

*Obiettivi formativi:* Il corso ha lo scopo di presentare allo studente i principali metodi di analisi, sintesi, codifica ed elaborazione numerica di immagini. Inizialmente, dopo aver introdotto le nozioni di base legate alle problematiche dell'analisi e sintesi di immagini multidimensionali ed ai modelli di sistemi di elaborazione delle immagini vengono illustrati i metodi di miglioramento della qualità e di filtraggio. Vengono poi presentati i metodi di compressione di immagini e di sequenze video. Si passa poi ad introdurre i metodi di analisi automatica con particolare riferimento ai problemi di classificazione.

Sono previste esercitazioni al calcolatore per lo sviluppo di programmi per l'elaborazione di immagini in ambiente MATLAB.

*Obiettivi formativi in Inglese:* Analysis, Synthesis, Coding and Digital Processing of images and videos.

The fundamental methods for image quality enhancement, filtering and automatic image analysis with particular emphasis to the coding and transmission strategies of multimedia signals are presented. Computer training for the development of image processing software by using MATLAB.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Radar and Statistical Signal Processing (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Image and Video Processing	5	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni
Image and Video Processing Laboratory	1		Altre attività - Abilità informatiche e telematiche	Laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni

## Industrial Internet of Things

*Obiettivi formativi:* L'obiettivo principale del corso è quello di fornire agli studenti una conoscenza avanzata delle tecnologie di rete in ambiente industriale, dei protocolli e delle architetture di servizio per l'IoT e l'IIoT. A conclusione del corso lo studente sarà capace di affrontare i problemi di progettazione delle tecnologie presentate ed avrà le conoscenze necessarie per lo sviluppo di un'infrastruttura IIoT.

*Obiettivi formativi in Inglese:* The main objective of the course is to provide students with an advanced knowledge of network technologies in the industrial environment, along with protocols and service architectures for IoT and IIoT. At the end of the course, the student will be able to face the design problems of the presented technologies and will achieve the necessary knowledge for the deployment of an IIoT infrastructure.

- CFU: 6
- Reiterabilità: 1
- Propedeuticità: nessuna
- Modalità di verifica finale: Prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Industrial Internet of Things	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

## Intelligent Wireless Technologies (6 CFU)

*Obiettivi formativi:* L'obiettivo del corso **Intelligent Wireless Technologies** è illustrare agli studenti le più moderne tecnologie per la gestione delle risorse radio. Con questa finalità, il corso dapprima affronterà lo studio delle tecniche tradizionali di gestione dello spettro radio nei sistemi cellulari di ultima generazione. Successivamente verranno introdotte le basi dell'ottimizzazione convessa, teoria che rappresenta lo strumento principale per risolvere i più classici problemi di ottimizzazione. La parte finale del corso sarà focalizzata su tecniche di allocazione avanzate per sistemi multi-utente, in cui la presenza dell'interferenza complica ulteriormente il problema di ottimizzazione. Considerando sistemi a complessità crescente, l'approccio tradizionale sarà integrato anche con lo studio di algoritmi di intelligenza artificiale, principalmente basati su deep reinforcement learning.

*Obiettivi formativi in Inglese:* The goal of the course **Intelligent Wireless Technologies** is to present students with the most modern technologies for the management of radio resources. With this aim, the course will first deal with the study of traditional radio spectrum management techniques in the latest generation cellular systems. Subsequently the bases of convex optimization will be introduced, a theory that represents the main tool for solving the most classic optimization problems. The final part of the course will focus on advanced allocation techniques for multi-user systems, in which the presence of interference further complicates the optimization problem. Considering systems with increasing complexity, the traditional approach will also be integrated with the study of artificial intelligence algorithms, mainly based on deep reinforcement learning.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Digital Communications (consigliata) e Communication Systems and Cybersecurity
- Modalità di verifica finale: prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Intelligent Wireless Technologies	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

## Methods and Technologies for Remote Sensing

*Obiettivi formativi:* Il corso ha lo scopo di presentare allo studente le principali metodologie per la misura a distanza e mappaggio di grandezze fisiche che hanno interesse in problemi diagnostici e di previsione. Vengono illustrati da un punto di vista sistemistico i sensori di tipo optoelettronico e radar approfondendo in particolare gli aspetti progettuali in base alla definizione delle specifiche prestazionali. Le metodologie di osservazione vengono presentate ricorrendo a modelli concettuali che rappresentano in maniera sintetica sia gli aspetti fisici che quelli tipici dell'elaborazione dei segnali multidimensionali.

Il corso prevede esercitazioni al computer per lo sviluppo di programmi per l'analisi di immagini telerilevate in ambiente MATLAB e attività di laboratorio per la misura della riflettanza di materiali mediante l'uso di uno spettroradiometro ad elevata risoluzione spettrale.

*Obiettivi formativi in Inglese:* The fundamental methods for remotely mapping of physical quantities in the detection and estimation problems.

Optoelectronic and radar systems with a particular emphasis to their performance.

Observation methods are presented by using conceptual models that represent physical and typical aspects of the multidimensional signal processing.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Radar and Statistical Signal Processing (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Methods and Technologies for Remote Sensing	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni

### Microelectronics for Telecommunications

*Obiettivi formativi:* Gli obiettivi formativi del corso sono quelli di dare agli studenti la conoscenza degli aspetti fondamentali della progettazione dei circuiti integrati per sistemi di telecomunicazioni e dei relativi strumenti software di ausilio alla progettazione. In particolare saranno illustrati i circuiti e le architetture dei principali blocchi per l'elaborazione dei segnali con cui realizzare sistemi di telecomunicazione rispetto ai requisiti di prestazioni, area, velocità di elaborazione, consumo di potenza ed affidabilità.

*Obiettivi formativi in Inglese:* The aim of the course is to provide to the students the knowledge of the fundamentals for the design of integrated circuits for communication systems and of the corresponding software tools for Computer Aided Design. In particular, circuits and architectures of the principal blocks utilized for signal processing will be presented, with specific reference to requirements in terms of performance, areas, processing speed, power consumption, and reliability.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: nessuna
- Modalità di verifica finale: Prova scritta e prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Microelectronics for Telecommunications	6	ING/INF01	Affini o integrative	Lezioni frontali +esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Microwave and mm-Wave Devices

*Obiettivi formativi:* Il corso si propone di presentare le tecnologie impiegate per la progettazione di dispositivi necessari al controllo della propagazione, riflessione e assorbimento delle onde elettromagnetiche. Verranno illustrate le metodologie di progettazione dei principali componenti dei sistemi di comunicazione e radar nel range delle microonde e delle onde millimetriche.

*Obiettivi formativi in inglese:* The course aims at presenting the technologies employed in the design of devices suitable for controlling propagation, reflection and absorption of electromagnetic waves. Methodologies for the design of communication and radar systems components in the microwave and millimeter wave range will be also illustrated.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Antenna Engineering (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale e progetto assegnato dal docente.
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Microwave and mmWave Devices	6	ING/INF02	Caratterizzante	Lezioni frontali +laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni

### **Multichannel Signal Processing**

*Obiettivi formativi:* il corso mira a fornire agli studenti conoscenze sulle tecniche di stima spettrale e di array signal processing utilizzate nei sistemi radar moderni quali i sistemi MIMO.

*Obiettivi formativi in inglese:* the lectures will teach the students many spectral estimation techniques and array signal processing methods. These techniques and methods are used in modern multichannel radar systems as the MIMO radars.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Radar and Statistical Signal Processing (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Multichannel Signal Processing	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

### **Network Metrology**

*Obiettivi formativi:* Il corso presenta i concetti fondamentali relativi alla teoria del traffico nelle reti di telecomunicazioni. Vengono introdotti i processi di Markov a stato discreto (catene) a tempo discreto e a tempo continuo. Viene inoltre presentata la teoria elementare delle code utile alla trattabilità dei modelli fondamentali di sistemi ad attesa e a perdita impiegati per

l'analisi di reti a commutazione di pacchetto e di circuito. La trattazione degli indici prestazionali fondamentali viene presentata passando ove necessario a domini trasformati (Laplace, Zeta). Sono infine presentati i teoremi fondamentali per la trattazione di reti di code markoviane aperte e chiuse. Una serie di esercitazioni sperimentali è dedicata alla presentazione dei principali strumenti per la misura del traffico in rete ed alle attività di standardizzazione in questo settore.

*Obiettivi formativi in Inglese:* The course presents the fundamental concepts related to the theory of traffic in telecommunication networks. Discrete-state Markov processes (discrete-time and continuous-time) are introduced. The elementary queueing theory useful for the tractability of the basic models of wait and loss systems used for the analysis of packet and circuit switched networks is also presented. Fundamental performance indexes are also derived even taking advantage of transformed domains (Laplace, Zeta) when necessary. Finally, the fundamental theorems for the treatment of open and closed Markovian networks of queues are presented. A series of experimental exercises is dedicated to the presentation of the main tools for measuring network traffic and standardization activities in this sector.

- CFU: 6
- Reiterabilità: 1
- Propedeuticità: nessuna
- Modalità di verifica finale: Prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Network Metrology	5	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni
Network Metrology Laboratory	1	ING/INF03	Altre attività - Abilità informatiche e telematiche	Laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni

### **Network Programming Laboratory**

*Obiettivi formativi:* Il corso ha natura prevalentemente sperimentale e si pone come obiettivo la realizzazione di esperimenti di trasmissione, cattura ed elaborazione di dati di traffico su rete reali e virtuali. Le lezioni si svolgeranno generalmente in laboratorio dopo una breve introduzione teorica.

*Obiettivi formativi in Inglese:* The course is mainly experimental and aims at carrying out laboratory exercises of transmission, capture and processing of traffic data on real and virtual networks. Lessons will generally take place in the laboratory after a brief theoretical introduction.

- CFU: 6
- Reiterabilità: 1
- Propedeuticità: Advanced Programming (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale e svolgimento di un progetto

- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Network Programming Laboratory	6	ING/INF03	Caratterizzante	Laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni

### Photonics Laboratory

*Obiettivi formativi:* L'obiettivo del corso è di sviluppare una comprensione approfondita delle conoscenze relative ai sistemi fotonici per le telecomunicazioni. Attraverso una serie di coinvolgenti attività di laboratorio con strumentazione allo stato dell'arte, il corso mira a fornire: i) una comprensione dei principi e delle tecnologie che sono alla base della trasmissione fotonica; ii) conoscenze sui dispositivi e sugli apparati che compongono un sistema di comunicazione fotonico; iii) abilità pratiche nella progettazione e realizzazione di sistemi di comunicazione in fibra ottica e nello svolgimento di misure su sistemi fotonici; iv) una comprensione degli sviluppi attuali e futuri delle tecnologie fotoniche per le comunicazioni.

*Obiettivi formativi in inglese:* The aim of the course is to develop an in-depth understanding of the knowledge related to photonic systems for telecommunications. Through a series of engaging laboratory activities with state-of-the-art instrumentation, the course aims to provide: i) an understanding of the principles and technologies that underlie photonic transmission; ii) knowledge of the devices that make up a photonic communication system; iii) practical skills in the design and implementation of fiber optic communication systems and in carrying out measurements on photonic systems; iv) an understanding of current and future developments in photonic communications technologies.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Nessuna
- Modalità di verifica finale: Prova pratica (orale)
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Photonic Laboratory	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni

**Radar and Statistical Signal Processing** è diviso nei due moduli di Statistical Signal Processing (6 CFU) e Radar Fundamentals (6 CFU);

*Obiettivi formativi:* Il modulo di **Statistical Signal Processing** tratta i temi basilari dell'elaborazione statistica dei segnali ed in particolare della teoria della stima con esempi applicativi di interesse per l'ingegneria delle Telecomunicazioni. Lo scopo è quello di far acquisire allo studente familiarità con la caratterizzazione dei segnali aleatori e l'estrazione di parametri di interesse sulla base dell'osservazione di tali segnali. Alcuni crediti formativi sono dedicati all'analisi delle prestazioni degli algoritmi di stima mediante tecniche di simulazione

Monte Carlo. Il Modulo di **Radar Fundamentals** ha lo scopo di fornire agli studenti le conoscenze di base relative ai sistemi radar coerenti ed incoerenti e alle funzioni da essi svolte: rivelazione in rumore Gaussiano bianco e correlato, tracking e stima dei parametri cinematici del target. Alcune delle applicazioni presentate sono strettamente legate alle conoscenze teoriche fornite dal modulo di Statistical Signal Processing. Le lezioni teoriche sono completate dal laboratorio Matlab.

*Obiettivi formativi in Inglese:* the course Statistical Signal Processing deals with the fundamentals of statistical signal processing and estimation theory with many applications on communications. In particular, the student will get familiar with the stochastic signal modeling and parameter extraction from observed signals corrupted by disturbance. The course Radar Fundamentals deal with the basic knowledge of coherent and incoherent radar systems and their functions as target detection and tracking in multiple scenarios. The theoretical lectures are completed by Matlab sessions.

- CFU: 12
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Nessuna
- Modalità di verifica finale: Prova scritta per la parte relativa al I modulo e prova orale per la parte relativa a I e II modulo.
- Lingua ufficiale: Italiano

<b>MODULO</b>	<b>CFU</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Caratteristica</b>	<b>Ambito</b>
Statistical Signal Processing	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni
Radar Fundamentals	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

### **Radar Systems**

*Obiettivi formativi:* Sviluppo di conoscenze su tecnologie radar moderne e sulle loro applicazioni. Insegnamento pratico tramite laboratorio di sviluppo di software per sistemi radar, algoritmi di processamento e assemblamento di un semplice radar con sistemi COTS al fine di rendere lo studente competente anche in materia di HW necessario per la implementazione di sistemi radar.

*Obiettivi formativi i inglese:* Knowledge of modern radar technology and its applications. Practical laboratory with software development for radar systems, algorithms for radar signal processing. Construction of a simple radar system with COTS components. The student at the end of this course will be knowledgable and competent in both software and hardware needed to develop a radar system.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Radar and Statistical Signal Processing (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

<b>MODULO</b>	<b>CFU</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Caratteristica</b>	<b>Ambito</b>
---------------	------------	------------	------------------	-----------------------	---------------

Radar Systems	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni
---------------	---	-----------	-----------------	-------------------------------	------------------------------------

### Radiofrequency and Microwave Laboratory

*Obiettivi formativi:* L'insegnamento ha lo scopo di presentare i metodi di misura e la strumentazione utilizzata per la caratterizzazione di antenne e dispositivi impiegati in sistemi di comunicazione ed apparati radar e di remote sensing. Inoltre, il corso ha lo scopo di descrivere metodologie di progettazione e prototipazione di antenne e dispositivi utilizzati nei sistemi ad alta frequenza, da qualche MHz fino alle decine di GHz.

*Obiettivi formativi in inglese:* The course deals with measurement methods and instrumentation used for characterizing antennas and devices used in communication, radar systems. Furthermore, the course aims at describing methodologies for the design and prototyping of antennas and devices used in high frequency systems, from a few MHz up to tens of GHz.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Antenna Engineering (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale e progetto assegnato dal docente.
- Lingua ufficiale: Italiano

MODULO	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Radiofrequency and Microwave Laboratory	6	ING/INF02	Caratterizzante	Laboratorio	Ingegneria delle telecomunicazioni

### Satellite Communications

*Obiettivi formativi:* L'insegnamento ha lo scopo di offrire allo studente una panoramica dei sistemi di radiocomunicazione satellitari, di evidenziarne gli aspetti tipici e critici dal punto di vista progettuale e di fornire i criteri di base per il loro dimensionamento. Vengono presentate le equazioni del radiocollegamento e analizzate le cause di possibile degradazione delle prestazioni (rumore, interferenza, distorsione non lineare, latenza, effetti Doppler, propagazione anomala nella troposfera ecc.). Vengono illustrate le problematiche relative all'applicazione delle tecniche di accesso multiplo a divisione di frequenza, di tempo, di codice e di spazio in ambito satellitare. Vengono inoltre trattate alcune applicazioni delle reti satellitari ai servizi (radiodiffusione, accesso alle reti globali fonia/dati).

*Obiettivi formativi in inglese:* The course aims to offer the student an overview of satellite radio communication systems, to highlight their typical and critical aspects from a design point of view and to provide the basic criteria for their design. The radio link equations are presented and the causes of possible performance degradation (noise, interference, nonlinear distortion, latency, Doppler effects, abnormal propagation in the troposphere, etc.) are analyzed. Problems

relating to the application of multiple access techniques divided by frequency, time, code and space in the satellite area are illustrated. Some applications of satellite networks to services (broadcasting, access to global voice / data networks) are also covered.

- CFU: 6
- Reteirabilità: 1
- Propedeuticità: Digital Communications (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale.
- Lingua ufficiale: Italiano

<b>MODULO</b>	<b>CFU</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Caratteristica</b>	<b>Ambito</b>
Satellite Communications	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

### **Wireless Network Design**

*Obiettivi formativi:* L'obiettivo principale del corso è quello di fornire una conoscenza dettagliata degli aspetti di networking dei sistemi cellulari (dal GSM fino a 5G), delle reti WLAN e delle Wireless Mesh Networks (WMN). A conclusione del corso, lo studente sarà consapevole dei diversi aspetti da considerare in fase di progetto ed installazione di una rete WLAN, sarà in grado di affrontare i problemi legati alla scelta di soluzioni di routing per le WMN e avrà le necessarie competenze per affrontare le problematiche di networking legate al mondo delle reti radiomobili.

*Obiettivi formativi in Inglese:* The main objective of the course is to provide detailed knowledge of the networking aspects of cellular systems (from GSM up to 5G), WLANs and Wireless Mesh Networks (WMN). At the end of the course, the student will be aware of the different aspects to consider when designing and installing a WLAN, and she/he will be able to face the problems related to the choice of routing solutions for WMN. Moreover, the student will achieve the necessary skills to deal with the networking issues related to the world of mobile radio networks.

- CFU: 6
- Reiterabilità: 1
- Propedeuticità: Communication Systems and Cybersecurity (consigliata)
- Modalità di verifica finale: Prova orale
- Lingua ufficiale: Italiano

<b>MODULO</b>	<b>CFU</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Caratteristica</b>	<b>Ambito</b>
Wireless Network Design	6	ING/INF03	Caratterizzante	Lezioni frontali +esercitazioni	Ingegneria delle telecomunicazioni

