



PIANO FORMATIVO

Master universitario di Secondo livello in

Optics and Quantum Information

1	Anno accademico	2020-2021												
2	Direttore	Concita Sibilìa												
3	Consiglio Didattico Scientifico	<ul style="list-style-type: none"> - Prof. M.Centini - Prof. E.Fazio - Prof. C.Sibilìa - Prof. A.Belardini - Prof. R. Asquini - Prof.S.Wabnitz - Prof R. Li Voti <p style="text-align: center;"><i>Docenti esterni</i> Prof. F.A.Bovino Prof.M.Bertolotti</p>												
4	Delibera di attivazione in Dipartimento	21/04/2020												
5	Data di inizio delle lezioni	01/03/2021												
6	Calendario didattico	Martedì, mercoledì, giovedì dalle 17.30 alle 20.00												
7	Eventuali partner convenzionati	-												
8	Requisiti di accesso	<p>Possono partecipare al Master, senza limitazioni di età e cittadinanza, coloro che sono in possesso di un titolo universitario appartenente ad una delle seguenti classi di laurea:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">DENOMINAZIONE CLASSE DI LAUREA</th> <th style="text-align: left;">NUMERO CLASSE DI LAUREA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>29/S Ingegneria dell'automazione</td> <td>LM-25</td> </tr> <tr> <td>30/S Ingegneria delle telecomunicazioni</td> <td>LM 27</td> </tr> <tr> <td>32/S Ingegneria elettronica ... -Ingegneria delle Nanotecnologie</td> <td>LM -53</td> </tr> <tr> <td>35/S Ingegneria informatica ...</td> <td>LM-32</td> </tr> <tr> <td>. 20/S Fisica</td> <td>LM -17</td> </tr> </tbody> </table> <p>Possono altresì accedere al Master anche i possessori di una Laurea conseguita in Italia in base al sistema previgente alla riforma universitaria del D.M. 509/99 equiparata ad una delle classi suindicate, come da tabella</p>	DENOMINAZIONE CLASSE DI LAUREA	NUMERO CLASSE DI LAUREA	29/S Ingegneria dell'automazione	LM-25	30/S Ingegneria delle telecomunicazioni	LM 27	32/S Ingegneria elettronica ... -Ingegneria delle Nanotecnologie	LM -53	35/S Ingegneria informatica ...	LM-32	. 20/S Fisica	LM -17
DENOMINAZIONE CLASSE DI LAUREA	NUMERO CLASSE DI LAUREA													
29/S Ingegneria dell'automazione	LM-25													
30/S Ingegneria delle telecomunicazioni	LM 27													
32/S Ingegneria elettronica ... -Ingegneria delle Nanotecnologie	LM -53													
35/S Ingegneria informatica ...	LM-32													
. 20/S Fisica	LM -17													



	<p>ministeriale https://www.cun.it/uploads/3852/par_2009_04_23.pdf?v=)</p> <p>Possono accedere al Master candidati in possesso di un titolo accademico equiparabile per durata e contenuto al titolo accademico italiano richiesto per l'accesso al corso.</p> <p>Per l'ammissione al Master di secondo livello il requisito minimo è il possesso di una Laurea a ciclo unico (durata 5 o 6 anni) oppure Laurea con durata di almeno tre anni (equivalente al Bachelor Degree nel sistema anglosassone) + Laurea Magistrale di due anni (equivalente al Master Degree di 2 anni nel sistema anglosassone).</p> <p>I suddetti candidati (in possesso di un titolo accademico conseguito all'estero) dovranno far pervenire, inderogabilmente entro la data di scadenza del presente bando, la seguente documentazione:</p> <ul style="list-style-type: none">- Fotocopia della Dichiarazione di Valore e delle certificazioni universitarie tradotte in italiano del titolo conseguito all'estero rilasciate dalle competenti rappresentanze diplomatiche o consolari italiane del paese in cui hanno conseguito il titolo. La dichiarazione di valore è <u>indispensabile a valutare se il titolo posseduto dal candidato è idoneo all'ammissione al Master in relazione al livello dello stesso. La Dichiarazione di Valore deve contenere le seguenti informazioni riguardanti il titolo di studio universitario posseduto:</u> <ol style="list-style-type: none">1. dati anagrafici dello studente titolare;2. stato giuridico e natura dell'istituzione rilasciante;3. requisiti di accesso al corso di studio conclusosi con quel titolo (anni complessivi di scolarità pre-universitaria);4. denominazione e durata legale del corso di studio e impegno globale richiesto allo studente in crediti o in ore;5. indicazione del ciclo di studio di appartenenza (se 1° ciclo o 2° ciclo);6. indicazione della carriera universitaria cui il titolo posseduto dà accesso (specificare se il titolo conseguito consente, in loco, l'accesso a corsi di 2° ciclo/Master Degree oppure a corsi di 3° ciclo/PHD) <p>In mancanza delle suddette informazioni le Dichiarazioni di Valore non saranno valide.</p> <p>Lo studente con titolo di studio conseguito all'estero non può essere ammesso con riserva.</p> <p>Oppure</p> <ul style="list-style-type: none">- Fotocopia del Diploma Supplement per i titoli conseguiti presso una Università Europea che rilasci tale certificazione. <p>Ammissione con riserva:</p> <p>I candidati laureandi possono essere ammessi "con riserva" al Master purché comunichino tempestivamente l'avvenuto conseguimento del titolo che deve avvenire improrogabilmente entro l'ultima sessione utile dell'anno accademico 2019/2020.</p> <p>Gli ammessi con riserva non possono partecipare a nessuna forma di agevolazione/finanziamenti in ingresso (assegnate in base alla valutazione per l'ammissione al Master) e vengono collocati in ultima posizione nella graduatoria se al momento della pubblicazione della stessa risultino ancora</p>
--	--



		laurenaira laureandi.
9	Modalità di svolgimento della selezione	Valutazione per titoli
10	Sede attività didattica	Dipartimento SBAI , Via Scarpa 16 Roma
11	Stage	n.d.
12	Modalità di erogazione della didattica	mista
13	Finanziamenti esterni, esenzioni, agevolazioni o riduzioni di quota	Si Finanziamenti esterni ,Finanziamenti da progetti “conto terzi”
14	Contatti Segreteria didattica	Indirizzo Stefania Fornara Telefono 06 49916800 e-mail Stefania Fornara stefania.fornara@uniroma1.it

Piano delle Attività Formative

Il Piano formativo è redatto considerando che le attività didattiche frontali e le altre forme di studio guidato o di didattica interattiva devono essere erogate per una durata non inferiore a 300 ore distribuite, di norma, nell'arco di almeno 6 mesi.

Il Piano formativo può prevedere che il Master sia erogato in tutto o in parte utilizzando forme di didattica a distanza o in lingua diversa dall'italiano.

Il numero minimo di Cfu assegnabile ad una attività è 1 e non è consentito attribuire Cfu alle sole ore di studio individuale.

In caso di attività (moduli) che prevedano più Settori Scientifici Disciplinari sono indicati dettagliatamente il numero di Cfu per ognuno di essi.

Denominazione attività formativa	Obiettivi formativi	Docente	Settore scientifico disciplinare (SSD)	CFU	Tipologia	Verifica di profitto (Se prevista, e modalità)
<p>Modulo 1: Ottica/Optics</p> <p>(Modulo comune ai due percorsi previsti nel Master)</p>	<p>Contenuti: Fondamenti di ottica geometrica. Onde. Onde sinusoidali. Onde piane. Polarizzazione, Diffrazione. Interferenza. Indice di rifrazione. Propagazione nei mezzi anisotropi e non omogenei (cristalli fotonici). Fasci gaussiani, fasci di Bessel, fasci di Laguerre-Gauss. Cenni di Ottica “singolare”. Cenni di spettroscopia.</p> <p><i>Fundamentals of geometrical optics. Optical waves. Polarization, diffraction, interference. Refractive index. Anisotropic and non homogenous media. Gaussian beams, Bessel beams, Laguerre Gauss beams. Singular Optics. Spectroscopy.</i></p>	M.Bertolotti, A.Belardini per la parte di Laboratorio	FIS 01	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Verifica finale mediante prova orale</p>

<p>Modulo 2: Ottica Nonlineare/Nonlinear Optics (Modulo comune ai due percorsi previsti nel Master)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contenuti: Vettore polarizzazione; spiegazione intuitiva delle non linearità ottiche; tensore della suscettività non lineare; effetti del second'ordine. Produzione di seconda armonica e processi parametrici; effetti del terz'ordine. Indice di rifrazione non lineare self-focusing e self-defocusing; processi parametrici. Fibre ottiche – propagazione in fibra, dispersione (modale, cromatica e di polarizzazione), perdite ed effetti non-lineari in fibre ottiche <p><i>Origin of the nonlinear optical response of materials. Nonlinear Polarization. Second and third order polarization. Parametric effects. Nonlinear refractive index, focusing and defocusing of light. - electromagnetic propagation, modal, chromatic and polarization dispersion, power loss, nonlinear optical effects Nonlinear optics in fibers</i></p>	<p>E.Fazio S.Wabnitz</p>	<p>FIS 01</p>	<p>4</p>	<p>Lezioni, Esercitazioni, Seminari</p>	<p>Prevista Verifica finale mediante prova orale</p>
<p>Modulo 3: Laser e Elettronica Quantistica/ Laser and Quantum electronics (Modulo comune ai due percorsi previsti nel Master)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contenuti: Struttura della materia. Plasmonica. Principi di interazione radiazione-materia. Sistemi laser in continua e impulsati. Oscillatori parametrici. Q-dots. Laser a cristallo fotonico. Nanolaser. Emettitori integrati. Emettitori integrati non lineari. Accoppiamento in-out della radiazione in sistemi integrati. Fotorivelatori, a giunzione: pn, pin, fotorivelatori a valanga, single photon avalanche diodes. Detector a 	<p>M.Centini C.Sibilia</p>	<p>FIS 01</p>	<p>8</p>	<p>Lezioni, Esercitazioni, Seminari</p>	<p>Prevista Verifica finale mediante prova orale</p>

	<p>superconduttore. Rumore nei fotorivelatori, rapporto segnale rumore, sensibilità, BER e Q nei ricevitori ottici. Limite quantico di fotorivelazione</p> <p><i>Basics of solid state physics - Plasmonics- Basics of light matter interaction. Lasers: c.w. pulsed, optical parametric oscillators- Q dots, photonics crystal lasers, nano-lasers, integrated emitters including optical nonlinear emitters. In/out coupling of radiation. Photodetectors: pn, pin, avalanche photodiodes, single photon avalanche diodes. Superconductor P.D. Detection noise, signal-to-noise ratio, sensitivity, bit error rate (BER) and Q in optical photodetectors. Quantum limit of photodetection.</i></p>					
<p>Modulo 4: Sistemi ICT/ Information Theory (Modulo comune ai due percorsi previsti nel Master)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contenuti: <p>Richiami di teoria della probabilità, variabili aleatorie, processi stocastici, proprietà di stazionarietà ed ergodicità, esempi: processo Gaussiano e catene di Markov – Entropia di Shannon e sue generalizzazioni (Renyi e Von Neumann), entropia relativa, distanza di Kullback Leibler, informazione mutual, statistiche sufficienti, disuguaglianza di Fano, primo teorema di Shannon sulla codifica di sorgente, disuguaglianza di Kraft, codifica di Huffman – Capacità di canale, secondo teorema di Shannon sulla codifica di canale, esempi: capacità di un canale binario simmetrico, capacità di un</p>	Da definire	ING INF 03	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Verifica finale mediante prova orale</p>

	<p>canale Gaussiano – Vincoli fondamentali su tasso di informazione-distorsione, principio della massima entropia</p> <p><i>Review of probability theory, random variables, stochastic processes, stationarity and ergodicity, examples: Gaussian processes and Markov chains – Shannon, Renyi and Von Neumann entropies, relative entropy, Kullback Leibler distance, mutual information, sufficient statistics, Fano's inequality, Shannon theorem on source coding, Kraft inequality, Huffman codes – Channel capacity, Shannon theorem on channel coding, examples: capacity of binary symmetric channel; capacity of Gaussian channel – Fundamentals of rate-distortion theory, maximum entropy principle</i></p>					
<p>Modulo 5: Informazione quantistica I <i>Quantum information I</i> (Modulo comune ai due percorsi previsti nel Master)</p>	<p>• Contenuti: Elettrodinamica classica; elettrodinamica quantistica nella “Gauge” di Coulomb, hamiltoniana di interazione tra particelle e campo e.m. Interazioni coerenti. Statistica quantistica. Processi dissipativi. Stati “dressed”.</p> <p><i>Classical Electrodynamics: fundamental equations and dynamical variables. Quantum Electrodynamics in the Coulomb Gauge: general framework, time evolution, observables and states of the quantized free field, the Hamiltonian for the Interaction</i></p>	F.A.Bovino	FIS 01	5	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Verifica finale mediante test</p>

	<i>between particles and field. Coherent interaction: two state dynamics, Jaynes-Cummings model. Quantum Statistics of the field. Dissipative processes. Dressed states.</i>					
<p>Modulo 6-1: (Informazione quantistica II / Quantum Information II (Modulo comune ai due percorsi previsti nel Master)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contenuti: Spazio di Hilbert di dimensione finita- Quantum bit, qbit multipli. Tomografia quantistica, entanglement, disuguaglianza di Bell, Teleportation, No-cloning, Informazione quantistica, Entropia e Informazione. Crittografia quantistica- Spazio di Hilbert di dimensione infinita. <p><i>Finite-Dimensional Hilbert Spaces: Quantum bits, Multiple qubits, Quantum Tomography, Entanglement, Bell Inequality, Teleportation, No-cloning. Quantum Information Theory: Entropy and Information, the Holevo Bound, Communication over noise quantum channels, entanglement as physical resource. Quantum dense coding and quantum cryptography. Infinite-Dimensional Hilbert Spaces.</i></p>	F.A.Bovino	FIS01	5	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Prevista Verifica finale mediante test
<p>Modulo 6-2: Radiazione termica e segnatura IR (Modulo del percorso 2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contenuti: Emissione spontanea, radiazione termica, legge di Planck, legge di Stephan-Boltzmann. Emissività, teoria del <i>corpo nero</i> e radiatori selettivi. Spettro elettromagnetico, radiazione luminosa, radiazione nell'infrarosso. Parametri caratteristici di un elemento radiante: radianza, radianza spettrale, potenza, potenza spettrale. 	R.Li Voti	FIS 01	4	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Prevista Verifica mediante test

	<p>Propagazione del segnale luminoso in aria, bande di assorbimento atmosferico.</p> <p>Effetti atmosferici: assorbimento, autoemissione, diffusione, deflessione, turbolenza. Modelli matematici di trasmissione atmosferica (modello "Navy", MOTRAN). Tecniche numeriche per la valutazione della emissività variabile dei materiali; e tecniche non distruttive (fotoacustiche e fototermiche) per la caratterizzazione di materiali</p>					
<p>Modulo 7-1: Computazione quantistica/ Quantum computation (Modulo del percorso 1).</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contenuti: Circuiti quantistici. Gates a singolo e multi-qbit. Trasformata di Fourier nel regime quantico e applicazioni- Algoritmi quantici : Algoritmo di Shor, algoritmo di Grover e ricerca euristica. Architetture circuitali e algoritmi quantistici per l'intelligenza computazionale: <p><i>Quantum circuits. Single and multiple qbits gates Quantum Fourier transform and its applications. Quantum search algorithms: : Shor's algorithm and quantum FFT, Grover's algorithm and heuristic search. Quantum circuits and algorithms for computational intelligence</i></p>	F.A:Bovino	FIS 01	5	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Lezioni, Esercitazioni, Seminari</p>
<p>Modulo 7.2: Sistemi Optoelettronici per la Difesa e Telerilevamento (Modulo del percorso 2).</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contenuti: Principali categorie di sistemi ottici per la Difesa e la Sicurezza; sistemi video, sistemi nell'infrarosso (IR) e dispositivi a intensificazione luminosa. Tipologie di sistemi di visione IR e 	Da Definire	FIS 01, ING INF 01, ING INF 02	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Lezioni, Esercitazioni, Seminari</p>

	<p>loro caratteristiche. Bande dello spettro elettromagnetico di interesse operativo. Principali caratteristiche ottiche di un sistema IR: parametri ottici (focale, apertura ottica, F#, Field-of-View,, risoluzione).</p> <p>Distanze di scoperta – riconoscimento – identificazione. Definizione della Probabilità di scoperta e della probabilità di falso allarme. Tecniche di scoperta e riconoscimento automatico da immagini Video/IR. <i>Case Study</i>: la <i>suite</i> opto-elettronica di una Unità Navale Sistemi <i>multispettrali</i> ed <i>iperspettrali</i>: principi di base e cenni di spettroscopia. Applicazioni di telerilevamento aereo e satellitare per il monitoraggio ambientale. Applicazioni di telerilevamento aereo e satellitare per la Difesa.</p>					
<p>Modulo 8-1: Dispositivi per la computazione quantistica/ <i>Quantum computation devices</i> (Modulo del percorso 1).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contenuti <p>Condizioni per la computazione quantistica. Quantum computer ottico, trappole ioniche. Risonanza magnetica nucleare. Altri schemi e dispositivi.</p> <p><i>Conditions for quantum computation. Harmonic oscillator quantum computer. Optical quantum computer, Ion traps, Nuclear magnetic resonance. More implementations: other schemes</i></p>	F.A.Bovino	FIS 01	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Prevista Verifica finale mediante test

<p>Modulo 8.2: Sistemi LASER di uso operativo (Modulo del percorso 2).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contenuti: Richiamo alle caratteristiche peculiari di una sorgente LASER. Utilizzo dei sistemi LASER in ambito operativo (telemetria, puntamento, illuminazione, visione attiva, comunicazione). Effetti della propagazione dell'energia LASER in aria (attenzione, diffrazione, riflessione, ecc.) LASER di potenza: applicazioni industriali ed applicazioni operative, tecnologie di base, effetti della propagazione in aria (autofocalizzazione, diffrazione). LASER di potenza ad onda continua ed impulsati. Contromisure LASER. Effetti su oggetti e strutture. 	<p>Da Definire</p>	<p>FIS 01</p>	<p>2</p>	<p>Lezioni, Esercitazioni, Seminari</p>	<p>Prevista Verifica finale mediante test</p>
<p>Modulo 9-1: Sistemi per l'elaborazione e la trasmissione ottica dell'informazione</p> <p>(Modulo del percorso 1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contenuti Collegamenti in fibra ottica punto-punto, criteri di progettazione, bilancio di potenza e del tempo di salita. BER, Q e penalità di potenza. Architetture di reti ottiche ad anello e a stella. Trasmissione multicanale. Canali ottici amplificati. Effetti della dispersione e delle non linearità sulla trasmissione di impulsi di luce. Algoritmi di elaborazione dei segnali e dell'informazione. Richiami sulle architetture di base. <i>Point-to-point fiber optic links, design rules, power and rise time budgets. BER, Q and system power penalties. Optical</i> 	<p>R.Asquini</p>	<p>ING INF 01</p>	<p>3</p>	<p>Lezioni, Esercitazioni, Seminari</p>	<p>Prevista Verifica finale mediante test</p>

	<p><i>networks: ring and star architectures. Multichannel transmission. Amplified optical links. Effects of fiber dispersion and nonlinear effects on optical pulse transmission. Quantum circuits and algorithms for signal and information processing. Survey of basic architectures. Standard algorithms for data processing and search problems</i></p>					
<p>Modulo 9.2: Prestazioni dei sistemi Optoelettronici ed elaborazione numerica delle immagini (Modulo del percorso 2).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contenuti: Tipologie <i>background</i> (strutturati / non strutturati). Criteri standard di valutazione delle prestazioni (STANAG, MIL-STD, TRM4, TOD) Concetto di segnatura nell'infrarosso di navi, aerei, mezzi terrestri, sorgenti principali della segnatura IR (hot-spot) e tecniche di riduzione. Test comparativi di sistemi IR in ambiente reale ed in condizioni di test standard. Contromisure passive (decoy) e loro principali parametri caratteristici. Firma spettrale e riconoscimento in immagini da telerilevamento. Tecniche di miglioramento della qualità dell'immagine. 	Da definire	ING INF 01, ING INF 02	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Prevista Verifica finale mediante test
<p>Modulo 10 Sicurezza Laser (Modulo del percorso 2)</p>	<p>Modulo di sicurezza LASER ai sensi del DLgs 81/2008.</p>	Da definire	FIS 01, ING INF 01, ING IN 02	4	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Non prevista

Tirocinio/Stage	NO	Fare clic o toccare qui per immettere il testo.	Fare clic o toccare qui per immettere il testo.	Fare clic o toccare qui per immettere il testo.	Fare clic o toccare qui per immettere il testo.
Altre attività	Attività di Laboratorio, seminari specialistici, partecipazione a workshop	SSD non richiesto	15	<i>Seminari(*), convegni</i>	
Prova finale	Il corso di Master intende sviluppare una concreta professionalità nel campo delle tecnologie innovative legate all'ottica, alla fotonica e all'elaborazione e trasmissione quantistica dell'informazione mediante tecniche innovative di comunicazione sicura, quale la crittografia quantistica.	SSD non richiesto	6	<i>Elaborato, tesi</i>	
TOTALE CFU			60		

NOTA: Le attività formative prevedono due percorsi: uno di “Quantum Information” e l’altro di “Optics” per la Difesa , per moduli didattici con un numero di 28 CFU in comune e moduli didattici di ,11 CFU per il per ciascun percorso, indicati come percorso 1 e percorso 2. (*) SEMINARI PREVISTI / Workshop 3-4 ore frontali ciascuno:

1. *Digital Image Processing* applicata alla fotointerpretazione: teoria della fotointerpretazione, implementazione filtri base per l’elaborazione delle immagini, definizione e implementazione software di super-risoluzione per immagini tele rilevate aeree e satellitari.
2. Elaborazione di immagini *iperspettrali* aeree/ satellitari e panoramica dell’impiego di software di elaborazione avanzata (ENVI)
3. Field test engineering: criteri per la corretta esecuzione di test in ambiente rilevante con immagini telerilevate da piattaforma aerea / satellitare e da piattaforma terrestre/navale

IL DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO

Prof. Adalberto Sciubba