



**Piano formativo del Master di II livello
“Optics And Quantum Information “**

Codice 16124

**Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per L'Ingegneria, Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale e
Facoltà di Ingegneria dell'Informazione, Informatica e Statistica**

Direttore del Master:	<i>Prof. Concita Sibia</i>
Consiglio Didattico Scientifico	<i>Elenco dei docenti di cui si allega il curriculum:</i> <ul style="list-style-type: none">- <i>Prof. E.Fazio</i>- <i>Prof. M.Centini</i>- <i>Prof. A.Belardini</i>- <i>Prof. D'Alessandro</i>- <i>Prof. C.Sibia</i>- <i>Prof. R. Asquini</i>- <i>Prof. M.Panella</i>- <i>Prof. M.Bertolotti</i>- <i>Prof. F.A. Bovino</i>
Borse di studio o altre agevolazioni:	<i>Due borse di studio di 2500 Euro ciascuna</i>
Calendario didattico	<i>Si allega il calendario didattico</i>
Pagina web del master	https://web.uniroma1.it/masteroqi/
Lingua di erogazione	<i>Italiano/Inglese</i>
Eventuali forme di didattica a distanza	
Altre informazioni utili	<i>Via Antonio Scarpa 14 – 00161 Roma</i>

Piano delle Attività Formative del Master II livello
“Optics And Quantum Information “
Codice 16124

Denominazione attività formativa	Descrizione obiettivi formativi	Responsabile insegnamento	Settore scientifico disciplinare (SSD)	CFU	Ore	Tipologia (lezione, esercitazione, laboratorio, seminario)	Verifiche di profitto (Se previste, modalità e tempi di svolgimento)
<i>Attività I</i>	<p>Modulo 1 (Optica/Optics)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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><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>	- Prof. M.Bertolotti e Prof. A.Belardini	FIS/01	3	30	Tipologia (lezione, esercitazione, laboratorio, seminario)	prevista verifica finale mediante prova orale
<i>Attività II</i>	<p>Modulo2 (OpticaII-Nonlineare/Nonlinear Optics)</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. 	- Prof. E.Fazio, Prof. A.Belardini	FIS/01	3	30	Tipologia (lezione, esercitazione, laboratorio, seminario)	prevista verifica finale mediante prova orale

	<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</i>						
<i>Attività III</i>	<p>Modulo 3 (Laser-Elettronica Quantistica/ Laser- Quantum electronics)</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. <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.</i></p>	Prof. M.Centini, Prof. A.Belardini	FIS/01	5	50	Tipologia (lezione, esercitazione, laboratorio, seminario)	prevista verifica finale mediante prova orale
<i>Attività IV</i>	<p>Modulo 4 (Dispositivi Optoelettronici/Optoelectronic Devices)</p> <ul style="list-style-type: none"> Contenuti: 	Prof. A.D'Alessandro	ING-INF/01	3	30	Tipologia (lezione, esercitazione, laboratorio,	prevista verifica finale mediante prova orale



	<p>Semiconduttori e composti III-V, omogiunzioni, eterogiunzioni e pozzi quantici. Fotorivelatori a giunzione: pn, pin, fotorivelatori a valanga, single photon avalanche diodes. Rumore nei fotorivelatori, rapporto segnale rumore, sensibilità, BER e Q nei ricevitori ottici. Limite quantico di fotorivelazione. Fibre ottiche: tipologie, propagazione elettromagnetica, dispersione (modale, cromatica e di polarizzazione), perdite ed effetti non-lineari. Amplificazione ottica: saturazione, banda, figura di rumore. Guide di luce in dielettrici organici e inorganici. Accoppiatori, giunzioni a X, Y e interferometri integrati. Modulatori elettroottici e acustoottici. Porte logiche ottiche.</p> <p><i>III-V Semiconductors and compounds, homojunctions, heterojunctions, double-heterostructures, single- and multi-quantum wells. Semiconductor junction photodetectors: pn, pin, avalanche photodiodes, single photon avalanche diodes. Detection noise, signal-to-noise ratio, sensitivity, bit error rate (BER) and Q in optical photodetectors. Quantum limit of photodetection. Fiber optics: structures, electromagnetic propagation, modal, chromatic and polarization dispersion, power loss, nonlinear optical effects. Optical amplifiers: saturation, bandwidth, noise figure, semiconductor and erbium doped fiber amplifiers.</i></p>				<p>seminario)</p>	
--	--	--	--	--	--------------------------	--



	<i>Optical waveguides in organic and inorganic dielectrics. Directional couplers, X and Y junctions, integrated optics interferometers. Electro-optic and acousto-optic modulators. Optical logic gates.</i>						
<i>Attività V</i>	<p>Modulo 5 (Sistemi ICT/ Information Theory)</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 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</i></p>	Da definire	ING -INF /03, ING-INF /02	3	30		prevista verifica finale mediante prova orale



	<p><i>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>						
Attività VI	<p>Modulo 6 (Informazione quantistica I/ <i>Quantum information I</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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><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 between particles and field. Coherent interaction: two state dynamics, Jaynes-Cummings model. Quantum Statistics of the field. Dissipative processes. Dressed states.</i></p>	Prof.F.A.Bovino	FIS/ 01	5	50		prevista verifica finale mediante prova orale.



<p><i>Attività VII</i></p>	<p>Modulo 7 (Informazione quantistica II / Quantum Information II)</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>	<p>Prof.F.A.Bovino</p>	<p>FIS/ 01</p>	<p>5</p>	<p>50</p>		<p>prevista verifica finale mediante prova orale</p>
<p><i>Attività VIII</i></p>	<p>Modulo 8 (Computazione quantistica/ Quantum computation)</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 <p><i>Quantum circuits. Single and multiple qbits gates Quantum Fourier transform and its applications.</i></p>	<p>Prof.F.A.Bovino</p>	<p>FIS/ 01</p>	<p>5</p>	<p>50</p>		<p>prevista verifica finale mediante prova orale</p>

	<i>Quantum search algorithms.</i>						
<i>Attività IX</i>	<p>Modulo 9 (Dispositivi per la computazione quantistica/ <i>Quantum computation devices</i>)</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>	Prof.F.A.Bovino	FIS/ 01	3	30		prevista verifica finale mediante prova orale
<i>Attività X</i>	<p>Modulo 10 (Sistemi per l'elaborazione e la trasmissione ottica dell'informazione quantistica/ <i>Optical systems for quantum information transmission and processing</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contenuti: <p>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</p>	Prof. R.Asquini, Prof. M.Panella	ING-INF/ 01, ING-IND/31	5	50		A conclusione di prevista verifica finale mediante prova orale



	<p>luce. Circuiti quantistici e algoritmi di elaborazione dei segnali e dell'informazione. Richiami sulle architetture di base. Algoritmi noti per elaborazione e ricerca: algoritmo di Shor e quantum FFT, algoritmo di Grover e ricerca euristica. Architetture circuitali e algoritmi quantistici per l'intelligenza computazionale: quantum neural networks, particle swarm optimization (PSO) quantistica, metodi di ricerca esaustiva, teoria dei giochi quantistica.</p> <p><i>Point-to-point fiber optic links, design rules, power and rise time budgets. BER, Q and system power penalties. Optical 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: Shor's algorithm and quantum FFT, Grover's algorithm and heuristic search. Quantum circuits and algorithms for computational intelligence: quantum neural networks, quantum particle swarm optimization (PSO), exhaustive search methods, quantum game theory, etc.</i></p>						
--	--	--	--	--	--	--	--

Denominazione e attività formativa	Descrizione obiettivi formativi	Settore scientifico disciplinare	CFU	Ore	Modalità di svolgimento
Tirocinio/Stage	NO				<i>Soggetti ospitanti, sedi e organizzazione</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.	FIS/01, ING-INF/01, ING-INF/02, ING-IND/31	6	60	<i>Elaborato, tesi</i>
Altre attività	Attività di Laboratorio		7+7	140	<i>Seminari, convegni e attività di laboratorio nei moduli sopra indicati</i>
TOTALE			60	600	