



ORDINAMENTO

MASTER DI II LIVELLO IN "Optics and Quantum Information"

Codice corso di studio: 16124

Art. 1 – Informazioni generali

Dipartimento proponente e di gestione	Dipartimento SBAI, Via Antonio Scarpa 16, 00161 Roma, Palazzina RM009 e DIET- Via Eudossiana 19, 00100 Roma
Facoltà di riferimento	Ingegneria Civile ed Industriale e Ingegneria dell'Informazione, informatica e statistica
Denominazione del Master	Optics and Quantum Information
Livello	Il livello
Durata	annuale
Delibera del Dipartimento di istituzione del Master	Delibera del Senato Accademico del 17.5.2011 con la quale il Master è stato istituito
Eventuali strutture partner e convenzioni	

**Articolo 2 – Informazioni didattiche**

Obiettivi formativi del Master	<p>Il Master si propone di realizzare un percorso formativo finalizzato alla formazione degli studenti nel campo della “quantum information “ (comunicazione e computazione quantistica ottica).</p> <p>L’obiettivo del Master è fornire reali competenze tecniche ai suoi frequentatori, anche nell’ambito delle Forze Armate. Finalità principale dei contenuti e delle metodologie impartite nel Master è nella formazione di studenti che, dopo la partecipazione al Master, possano entrare nel mondo del lavoro con un bagaglio di conoscenze tecniche e pratiche di elevato profilo di livello internazionale.</p> <p>Il corso di Master è rivolto a soggetti interessati a 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.</p> <p>Per lo svolgimento dei corsi e per l’organizzazione delle attività formative, il Master si avvale:</p> <ul style="list-style-type: none">a) delle competenze didattiche e scientifiche, nei campi di base ed applicativi delle discipline inerenti gli obiettivi del Master, presenti nella Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale e nella Facoltà di Ingegneria dell’Informazione, Informatica e Statistica dell’ Università degli Studi di Roma “La Sapienza”;b) degli specifici apporti di esperti ed operatori di provata e documentata esperienza che svolgono la loro attività in strutture di ricerca pubbliche e private, e negli organismi incaricati dello studio di fisica, ottica del laser e delle conseguenti applicazioni nell’ambito della sicurezza dell’informazione.
Risultati di apprendimento attesi	<p>Il corso di Master è rivolto a soggetti interessati a 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</p>



Settori Scientifico Disciplinari	Fis 01, Ing Inf 01, Ing Inf 03, Ing IND 31..														
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" data-bbox="668 875 1522 1160"><thead><tr><th>DENOMINAZIONE CLASSE DI LAUREA</th><th>NUMERO CLASSE</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 ...</td><td>LM-29</td></tr><tr><td>-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 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>	DENOMINAZIONE CLASSE DI LAUREA	NUMERO CLASSE	29/S Ingegneria dell'automazione	LM-25	30/S Ingegneria delle telecomunicazioni	LM 27	32/S Ingegneria elettronica ...	LM-29	-Ingegneria delle Nanotecnologie	LM -53	35/S Ingegneria informatica ...	LM-32	20/S Fisica	LM -17
DENOMINAZIONE CLASSE DI LAUREA	NUMERO CLASSE														
29/S Ingegneria dell'automazione	LM-25														
30/S Ingegneria delle telecomunicazioni	LM 27														
32/S Ingegneria elettronica ...	LM-29														
-Ingegneria delle Nanotecnologie	LM -53														
35/S Ingegneria informatica ...	LM-32														
20/S Fisica	LM -17														



	<p>- 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></p> <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. Lo studente con titolo di studio conseguito all'estero non può essere ammesso con riserva.</p> <p>Oppure</p> <p>- Fotocopia del Diploma Supplement per i titoli conseguiti presso una Università Europea che rilasci tale certificazione.</p> <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 2017/2018. Gli ammessi con riserva non possono partecipare a nessuna</p>
--	--



	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 laureandi.
Numero minimo e massimo di ammessi	Minimo 5, massimo 15 vista la specificità del Master stesso e la sua sostenibilità economica con anche fondi esterni
Modalità di svolgimento della selezione di ammissione	L'ammissione avverrà con una selezione per titoli.
Date presunte di inizio e fine del corso	Data di inizio 25 febbraio 2020 e conclusione il 31 gennaio 2021.
Uditori	E' ammessa la frequenza di uditori a soggetti non in possesso del titolo (vedi art.17 Del "Regolamento")
Corsi Singoli	Indicare i moduli usufruibili come corsi singoli (vedi art.18 Del "Regolamento"): Informazione Quantistica I e II, Computazione Quantistica, Dispositivi per la computazione quantistica
Obbligo di Frequenza	Obbligo di frequenza pari al 75% al monte ore complessivo delle lezioni
Offerta di stage	Da definire
Modalità di Svolgimento Prova Finale	La prova finale consiste di un esame e di una presentazione di tesi
Lingua di insegnamento	Italiano e Inglese
Eventuali forme di didattica a distanza	Previste alcune forme di didattica a distanza sotto forma di videoconferenza

Articolo 3 – Informazioni organizzative



Risorse logistiche	Aule, laboratori e biblioteche di Via Scarpa 16, area del Dipartimento SBAI
Risorse di personale tecnico-amministrativo	N4°
Risorse di tutor d'aula	n°1
Risorse di docenza	n° 9
Sede delle attività didattiche	Via Scarpa 16, 00161 Roma- Dip SBAI
Sede della segreteria c/o il Dipartimento	Dip SBAI- Pal RM004 – Sig.ra Stefania Fornara

Articolo 4 – Fonti di finanziamento del Master

Importo quota di iscrizione	La quota di iscrizione è di 2500/duemilacinquecento euro
Eventuali esenzioni o riduzioni di quota (fatta salva la quota a bilancio di Ateneo del 30%)	
Eventuali finanziamenti esterni e/o borse di studio	Progetti “Conto Terzi” Ministero della Difesa e EU
Riduzioni di quota derivanti da particolari convenzioni	



PIANO FORMATIVO DEL MASTER

Direttore del Master:	Prof. Concita Sibia
Consiglio Didattico Scientifico	<i>Prof. M.Centini</i> - <i>Prof. E.Fazio</i> - <i>Prof. D'Alessandro</i> - <i>Prof. R. Asquini</i> - <i>Prof. M Panella</i> <i>Prof.S.Wabnitz</i> <i>Prof. M.Bertolotti</i> - <i>Prof. F.A.Bovino</i>
Calendario didattico	<i>"da definirsi"</i>





“Optics And Quantum Information “
Codice 16124

Denominazione attività formativa	Descrizione obiettivi formativi	Responsabile insegnamento	Settore scientifico o disciplina re (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 I/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</i></p>	Docente da definire insieme a M.Bertolotti	FIS/01	3	75	lezione, esercitazione, laboratorio, seminario e studio individuale	prevista verifica finale mediante prova orale



	<p><i>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>						
Attività II	<p>Modulo2 (Otticall- 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. 	<p>Prof. E.Fazio, S. Wabnitz</p>	FIS/ 01	3	75	<p>lezione, esercitazione, laboratorio, seminario e studio individuale</p>	<p>prevista verifica finale mediante prova orale</p>



	<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</i></p>						
<p><i>Attività III</i></p>	<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</i></p>	<p>Prof. M.Centini C.Sibilia</p>	<p>FIS/01</p>	<p>5</p>	<p>125</p>	<p>lezione, esercitazione, laboratorio, seminario e studio individuale</p>	<p>prevista verifica finale mediante prova orale</p>



	<i>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>						
Attività IV	Modulo 4 (Dispositivi Optoelettronici/Optoelectronic Devices) <ul style="list-style-type: none">Contenuti: 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,	Prof D'Alessandro	ING-INF/01	3	75	lezione, esercitazione, seminario e studio individuale	prevista verifica finale mediante prova orale



	<p>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.</i></p>						
--	---	--	--	--	--	--	--



	<p>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. 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.</p>						
Attività V	<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,</p>	Docente da definire	ING -INF /03	3	75	lezione, esercitazione, seminario e studio individuale	prevista verifica finale mediante prova orale



	<p>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</i></p>						
--	--	--	--	--	--	--	--



	<p><i>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>						
Attività VI	<p>Modulo 6 (Informazione quantistica I/ Quantum information 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. 	<p>Prof. F.A.Bovino</p>	FIS/ 01	5	125	<p>lezione, esercitazione, laboratorio, seminario e studio individuale</p>	<p>prevista verifica finale mediante prova orale.</p>



	<p>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 between particles and field. Coherent interaction: two state dynamics, Jaynes-Cummings model. Quantum Statistics of the field. Dissipative processes. Dressed states.</i></p>						
Attività VII	<p>Modulo 7 (Informazione quantistica II / Quantum Information II)</p> <ul style="list-style-type: none"> Contenuti: Spazio di Hilbert di dimensione finita- 	Prof. F.A.Bovino	FIS/ 01	5	125	lezione, esercitazione, laboratorio, seminario e studio individuale	prevista verifica finale mediante prova orale



<p>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> <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-</i></p>							
---	--	--	--	--	--	--	--



	<i>Dimensional Hilbert Spaces.</i>						
<i>Attività VIII</i>	Modulo 8 (Computazione quantistica/ <i>Quantum computation</i>) <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 <i>Quantum circuits. Single and multiple qbits gates Quantum Fourier transform and its applications. Quantum search algorithms.</i>	Prof. F.A.Bovino	FIS/ 01	5	125	lezione, esercitazione, laboratorio, seminario e studio individuale	prevista verifica finale mediante prova orale
<i>Attività IX</i>	Modulo 9 (Dispositivi per la computazione quantistica/ <i>Quantum computation devices</i>) <ul style="list-style-type: none">Contenuti Condizioni per la computazione quantistica. Quantum	Prof. F.A.Bovino	FIS/ 01	3	75	lezione, esercitazione, laboratorio, seminario e studio individuale	prevista verifica finale mediante prova orale



	<p>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>						
Attività X	<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: 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 	<p>Prof. R.Asquini, Prof. M.Panella</p>	<p>ING-INF/01, <hr/>ING-IND/31</p>	<p>2.5 <hr/>2.5</p>	<p>62.5 <hr/>62.5 5</p>	<p>lezione, esercitazione, seminario e studio individuale</p>	<p>A conclusione di prevista verifica finale mediante prova orale</p>



	<p>amplificati. Effetti della dispersione e delle non linearità sulla trasmissione di impulsi di luce. Circuiti quantistici e algoritmi di elaborazione dei segnali e dell'informazione.</p> <p>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</i></p>						
--	--	--	--	--	--	--	--



	<p><i>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 attività formativa	Descrizione obiettivi formativi	Settore scientifico o disciplina re	CFU	Ore	Modalità di svolgimento
Tirocinio/ Stage	NO	NON ASSEGNABILI			<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.	NON ASSEGNABILI	6	60	<i>Elaborato, tesi</i>
Altre attività	Attività di Laboratorio		7+7	350	<i>Seminari, convegni e attività di laboratorio nei moduli sopra indicati</i>
TOTALE			60	1500	

IL DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO DI RIFERIMENTO
Prof. Luigi Palumbo