

PIANO FORMATIVO**Master interdipartimentale di Secondo livello in****Optics and Quantum Information**

1	Anno accademico	2022-2023
2	Direttore	Concita Sibilìa
3	Consiglio Didattico Scientifico¹	<ul style="list-style-type: none">- <i>Prof. R. Asquini</i>- <i>Prof. M. Centini</i>- <i>Prof. E. Fazio</i>- <i>Prof. C. Sibilìa</i>- <i>Prof. A. Belardini</i>- <i>Prof. S. Wabnitz</i>- <i>Prof. R. Li Voti</i> <p>Docenti Esterni <i>Prof. M. Bertolotti</i> <i>Prof. F. A. Bovino</i></p>
4	Delibera di attivazione in Dipartimento	15/03/2022
5	Data di inizio delle lezioni	28/02/2022
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> <p>DENOMINAZIONE CLASSE DI LAUREA NUMERO CLASSE DI LAUREA</p> <table><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>Ingegneria Areospaziale</td><td>LM-20</td></tr><tr><td>. 20/S Fisica</td><td>LM -17</td></tr></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>	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	Ingegneria Areospaziale	LM-20	. 20/S Fisica	LM -17
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															
Ingegneria Areospaziale	LM-20															
. 20/S Fisica	LM -17															

		<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 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: <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 conclusivi 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 2021/2022.</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 laureandi.</p>
9	Prova di selezione	Non prevista (selezione 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 Valerio Nardone Telefono 06-4976-6771 e-mail valerio.nardone@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)
Modulo 1: Ottica/Optics	<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	Prevista Verifica finale mediante prova orale

<p>Modulo 2: Ottica Nonlineare/Nonlinear Optics</p>	<p>□ 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 selffocusing 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> <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</i> <i>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</p> <p>Verifica finale mediante prova orale</p>
<p>Modulo 3: Laser e Elettronica Quantistica/ Laser and Quantum electronics</p>	<p>□ Contenuti: (Fis01) Struttura della materia. Plasmonica. Principi di interazione radiazionemateria. Sistemi laser in continua e impulsati. Oscillatori parametrici. Qdots. Laser a cristallo fotonico. Nanolaser. Emittitori integrati. Emittitori integrati non lineari.</p>	<p>M.Centini C.Sibilia R.Asquini</p>	<p>FIS 01 ING INF 01</p>	<p>3CFU di FIS 01 2 CFU di ING INF01</p>	<p>Lezioni, Esercitazioni Seminari</p>	<p>Prevista</p> <p>Verifica finale mediante prova orale</p>



	<p>(Inf.Inf01)Accoppiamento in-out della radiazione in sistemi integrati. Fotorivelatori, a giunzione: pn, pin, fotorivelatori a valanga, single photon avalanche diodes. Detector a 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>					
--	---	--	--	--	--	--



Modulo 4: Sistemi ICT/ Information Theory	□ Contenuti: 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	Da definire	ING INF 03	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Prevista Verifica finale mediante prova orale
--	---	-------------	------------	---	----------------------------------	--



	<p>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 e 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 / Quantum information I</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 between particles and field. Coherent interaction: two state dynamics, Jaynes-Cummings model. Quantum Statistics of the field. Dissipative processes. Dressed states.</i></p>	<p>F.A.Bovino</p>	<p>FIS 01</p>	<p>5</p>	<p>Lezioni, Esercitazioni , Seminari</p>	<p>Prevista Verifica finale mediante test</p>
<p>Modulo 6: Informazione quantistica II / Quantum Information II</p>	<p>□ 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> <p><i>Finite-Dimensional Hilbert Spaces: Quantum bits, Multiple qubits, Quantum Tomography, Entanglement,</i></p>	<p>F.A.Bovino</p>	<p>FIS01</p>	<p>5</p>	<p>Lezioni, Esercitazioni , Seminari</p>	<p>Prevista Verifica finale mediante test</p>

	<i>Bell Inequality, Teleportation, Nocloning. 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>					
Modulo 7: Radiazione termica e segnatura IR	<p>□ 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. Propagazione del segnale luminoso in aria, bande di assorbimento atmosferico. Effetti atmosferici: assorbimento, autoemissione, diffusione, deflessione, turbolenza. Tecniche numeriche per la valutazione della emissività variabile dei materiali; e tecniche non distruttive (fotoacustiche e fototermiche) per la caratterizzazione di materiali</p>	R.Li Voti	FIS 01	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Prevista Verifica mediante test
Modulo 8: Computazione quantistica/ Quantum computation	<p>□ 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</p>	F.A.Bovino	FIS 01	5	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Prevista Lezioni, Esercitazioni, Seminari

	<p>circuitali e algoritmi quantistici per l'intelligenza computazionale:</p> <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>					
<p>Modulo 9: Dispositivi per la computazione quantistica/ <i>Quantum computation devices</i></p>	<p>□ Contenuti 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 10: Sistemi per l'elaborazione e la trasmissione ottica dell'informazione</p>	<p>□ 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 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>S.Wabnitz</p>	<p>ING INF 01</p>	<p>3</p>	<p>Lezioni, Esercitazioni, Seminari</p>	<p>Prevista Verifica finale mediante test</p>
<p>Tirocinio/Stage</p>	<p>No</p>					

Altre attività	Attività di Laboratorio, seminari specialistici, partecipazione a workshop	SSD non richiesto	14	<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	7	<i>Elaborato, tesi</i>
TOTALE CFU			60	

NOTA: (*) SEMINARI PREVISTI / Workshop 3-4 ore frontali ciascuno:

1. *Digital Image Processing* : 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 .



IL DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO

Prof. Adalberto Sciubba