



## PIANO FORMATIVO

### Master interdipartimentale di Secondo livello in

### Optics and Quantum Information

1	Anno accademico	2023-2024																
2	Direttore	Prof. Roberto Li Voti																
3	Consiglio Didattico Scientifico	<ul style="list-style-type: none"><li>- Prof. R. Asquini</li><li>- Prof. M. Centini</li><li>- Prof. A. Belardini</li><li>- Prof. S. Wabnitz</li><li>- Prof. E. Persichetti</li><li>- Prof. M. Zitelli</li></ul> <p style="text-align: center;"><i>Docenti Esterni</i></p> <p>Prof. Mario Bertolotti Prof. Fabio Antonio Bovino</p>																
4	Delibera di attivazione in Dipartimento	13/04/2023																
5	Data di inizio delle lezioni	28/02/2024																
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 Aereospaziale</td><td>LM-20</td></tr><tr><td>Informatica</td><td>LM-18</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 <a href="https://www.cun.it/uploads/3852/par_2009_04_23.pdf?v=">https://www.cun.it/uploads/3852/par_2009_04_23.pdf?v=</a>)</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) +</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 Aereospaziale	LM-20	Informatica	LM-18	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 Aereospaziale	LM-20																	
Informatica	LM-18																	
20/S Fisica	LM -17																	



		<p>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"><li>- 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:</li></ul> <ol style="list-style-type: none"><li>1. dati anagrafici dello studente titolare;</li><li>2. stato giuridico e natura dell'istituzione rilasciante;</li><li>3. requisiti di accesso al corso di studio conclusivi con quel titolo (anni complessivi di scolarità pre-universitaria);</li><li>4. denominazione e durata legale del corso di studio e impegno globale richiesto allo studente in crediti o in ore;</li><li>5. indicazione del ciclo di studio di appartenenza (se 1° ciclo o 2° ciclo);</li><li>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)</li></ol> <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"><li>- Fotocopia del Diploma Supplemento per i titoli conseguiti presso una Università Europea che rilasci tale certificazione.</li></ul> <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>
<b>9</b>	<b>Prova di selezione</b>	Non prevista (selezione per titoli)
<b>10</b>	<b>Sede attività didattica</b>	Dipartimento SBAI, Via Scarpa 16 Roma
<b>11</b>	<b>Stage</b>	n.d
<b>12</b>	<b>Modalità di erogazione della didattica</b>	mista
<b>13</b>	<b>Finanziamenti esterni, esenzioni, agevolazioni o riduzioni di quota</b>	Si  Finanziamenti esterni, Finanziamenti da progetti "conto terzi"



<b>14</b>	<b>Contatti Segreteria didattica</b>	<b>Indirizzo</b> <b>Via Scarpa 16 , Pal RM004</b> <b>Telefono</b> 06-4976-6771 <b>e-mail</b> <a href="mailto:sbai.masteroqi@uniroma1.it">sbai.masteroqi@uniroma1.it</a>
-----------	--------------------------------------	--



### 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 I: <b>Ottica/Optics</b>	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.  <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>	M.Bertolotti e A.Belardini per la parte di Laboratorio	FIS 01	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Prevista  Verifica finale mediante prova orale

<p><b>Modulo II: Ottica Nonlineare/Nonlinear Optics</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenuti:</b>  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</li> </ul> <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>S.Wabnitz</p>	<p>ING INF 01/</p>	<p>4</p>	<p>Lezioni, Esercitazioni, Seminari</p>	<p>Prevista Verifica finale mediante prova orale</p>
<p><b>Modulo III: Laser e Elettronica Quantistica/ Laser and Quantum electronics</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenuti:</b>  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</li> </ul>	<p>M.Centini R.Asquini</p>	<p>FIS 01 ING INF01</p>	<p>4 1</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: Fondamenti di Crittografia/ Fundamentals of Cryptography</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenuti:</b> Primi concetti di crittografia; cifrari a blocco e a flusso; definizioni di sicurezza inclusi obiettivi e modelli di attacchi; funzioni di hash; nozioni di crittografia a chiave pubblica, con particolare enfasi su encryption, schemi di firma digitale e meccanismi di scambio di chiave. Esempi comuni e panorama delle applicazioni, inclusi AES, il crittosistema RSA, il Digital Signature Algorithm (DSA) e la versione essenziale del protocollo di Diffie-Hellman per lo scambio di chiavi.</li> </ul>	E.Persichetti	ING INF 01	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Verifica finale mediante prova orale</p>

	<p>Early concepts of cryptography; block and stream ciphers; security definitions, goals and attack models; hash functions; public-key cryptography, in particular, public key encryption, digital signature schemes, and key establishment protocols. Common examples and uses of such schemes, including the AES, RSA, the Digital Signature Algorithm (DSA), and the basic Diffie-Hellman key establishment protocol</p>					
<p><b>Modulo 5: Informazione quantistica I/ Quantum information I</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenuti:</b> 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".</li> </ul> <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>	F.A.Bovino	FIS 01	5	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	Prevista  Verifica finale mediante test

<p>Modulo 6: <b>Informazione quantistica II / Quantum Information II</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ul> <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	FIS 01	5	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Verifica finale mediante test</p>
<p>Modulo 7: <b>Radiazione termica e segnatura IR</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	R.Li Voti	FIS 01	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Verifica finale mediante test</p>



<p>Modulo 8: <b>Computazione quantistica/ <i>Quantum computation</i></b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenuti:</b> 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: <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></li> </ul>	F.A:Bovino	FIS 01	5	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Lezioni, Esercitazioni, Seminari</p>
<p>Modulo 9: <b>Dispositivi per la computazione quantistica/ <i>Quantum computation devices</i></b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenuti</b> Condizioni per la computazione quantistica. Quantum computer ottico, trappole ioniche. Risonanza magnetica nucleare. Altri schemi e dispositivi. <i>Conditions for quantum computation. Harmonic oscillator quantum computer. Optical quantum computer, Ion traps, Nuclear magnetic resonance. More implementations: other schemes</i></li> </ul>	F.A.Bovino	FIS 01	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Verifica finale mediante test</p>
<p>Modulo 10: <b>Sistemi per l'elaborazione e la trasmissione ottica dell'informazione</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenuti</b> 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.</li> </ul>	S.Wabnitz M.Zitelli	ING INF 01	3	Lezioni, Esercitazioni, Seminari	<p>Prevista</p> <p>Verifica finale mediante test</p>

	<p>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.</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</i></p>				
<b>Tirocinio/Stage</b>	No	SSD non richiesto		Soggetti ospitanti, sedi e organizzazione	
<b>Altre attività</b>	Attività di Laboratorio, seminari specialistici, partecipazione a workshop	SSD non richiesto	14	<i>Seminari, convegni ecc...</i>	
<b>Prova finale</b>	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, project work ecc.</i>	
<b>TOTALE CFU</b>			<b>60</b>		

