

<b>Università</b>	Politecnico di TORINO				
<b>Classe</b>	LM-29 - Ingegneria elettronica				
<b>Atenei in convenzione</b>	<b>Ateneo</b>	<b>data conv</b>	<b>durata</b>	<b>data provvisoria</b>	<b>vedi conv</b>
	École polytechnique fédérale - Lausanne (Svizzera)	27/01/2010		S	
	Institut Polytechnique - Grenoble (France)	27/01/2010		S	
<b>Tipo di titolo rilasciato</b>	Congiunto				
<b>Nome del corso in italiano</b>	Nanotechnologies for ICTs (Nanotecnologie per le ICT) <i>adeguamento di: Nanotechnologies for ICTs (Nanotecnologie per le ICT)</i> ( <a href="#">1389446</a> )				
<b>Nome del corso in inglese</b>	Nanotechnologies for ICTs				
<b>Lingua in cui si tiene il corso</b>	inglese				
<b>Codice interno all'ateneo del corso</b>	37023				
<b>Data di approvazione della struttura didattica</b>	18/01/2019				
<b>Data di approvazione del senato accademico/consiglio di amministrazione</b>	07/05/2019				
<b>Data della consultazione con le organizzazioni rappresentative a livello locale della produzione, servizi, professioni</b>	18/01/2010 -				
<b>Data del parere favorevole del Comitato regionale di Coordinamento</b>					
<b>Modalità di svolgimento</b>	a. Corso di studio convenzionale				
<b>Eventuale indirizzo internet del corso di laurea</b>	<a href="http://offerta.polito.it/laurea_magistrale/Nanotech">http://offerta.polito.it/laurea_magistrale/Nanotech</a>				
<b>Dipartimento di riferimento ai fini amministrativi</b>	ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI				
<b>EX facoltà di riferimento ai fini amministrativi</b>					
<b>Massimo numero di crediti riconoscibili</b>	12 DM 16/3/2007 Art 4 <b>Nota 1063 del 29/04/2011</b>				
<b>Corsi della medesima classe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingegneria elettronica</li> </ul>				

#### **Obiettivi formativi qualificanti della classe: LM-29 Ingegneria elettronica**

I laureati nei corsi di laurea magistrale della classe devono:

- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;
- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'ingegneria elettronica, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere, anche in modo innovativo, problemi complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;
- essere capaci di ideare, pianificare, progettare e gestire sistemi, processi e servizi complessi e/o innovativi;
- essere capaci di progettare e gestire esperimenti di elevata complessità;
- avere conoscenze nel campo dell'organizzazione aziendale (cultura d'impresa) e dell'etica professionale;
- essere dotati di conoscenze di contesto e di capacità trasversali;
- essere in grado di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, almeno una lingua dell'Unione Europea oltre l'italiano, con riferimento anche ai lessici disciplinari.

L'ammissione ai corsi di laurea magistrale della classe richiede il possesso di requisiti curriculari che prevedano, comunque, un'adeguata padronanza di metodi e contenuti scientifici generali nelle discipline scientifiche di base e nelle discipline dell'ingegneria, propedeutiche a quelle caratterizzanti previste nell'ordinamento della presente classe di laurea magistrale.

I corsi di laurea magistrale della classe devono inoltre culminare in una importante attività di progettazione, che si concluda con un elaborato che dimostri la padronanza degli argomenti, la capacità di operare in modo autonomo e un buon livello di capacità di comunicazione.

I principali sbocchi occupazionali previsti dai corsi di laurea magistrale della classe sono quelli dell'innovazione e dello sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di sistemi complessi, sia nella libera professione sia nelle imprese manifatturiere o di servizi che nelle amministrazioni pubbliche. I laureati magistrali potranno trovare occupazione presso imprese di progettazione e produzione di componenti, apparati e sistemi elettronici ed optoelettronici; industrie manifatturiere, settori delle amministrazioni pubbliche e imprese di servizi, che applicano tecnologie e infrastrutture elettroniche per il trattamento, la trasmissione e l'impegno di segnali in ambito civile, industriale e dell'informazione.

Gli atenei organizzano, in accordo con enti pubblici e privati, stages e tirocini.

## **Sintesi della relazione tecnica del nucleo di valutazione**

Il corso è una trasformazione, anche in adeguamento al D.M. 270/04, del pre-esistente corso in Ingegneria Nanotecnologie per le ICT. Le risorse di personale, tecnologiche e materiali appaiono sufficienti. Con riferimento al corso pre-esistente, in base agli ultimi dati disponibili, gli studenti iscritti negli A.A. dal 2004-2005 al 2008-2009, sono cresciuti da 36 a 77, ed i laureati hanno avuto una crescita da 22 (nel 2006) a 39. Il Nucleo di Valutazione constata come la progettazione del Corso di Laurea Magistrale in Nanotechnologies for ICTS LM-29, sia stata effettuata nell'ambito dell'azione di coordinamento condotta a livello complessivo di Ateneo come si evince dai verbali del Senato Accademico.

A parere del Nucleo, la proposta risulta quindi adeguatamente progettata, con obiettivi formativi chiaramente formulati.

Il Nucleo conferma inoltre che il Corso di Laurea è proposto dalla III Facoltà di Ingegneria che soddisfa i requisiti di docenza con risorse proprie.

## **Sintesi della consultazione con le organizzazioni rappresentative a livello locale della produzione, servizi, professioni**

La consultazione con il sistema socio-economico e le parti interessate, è avvenuta il 18 gennaio 2010 in un incontro della Consulta di Ateneo, a cui sono stati invitati 28 rappresentanti di organizzazioni della produzione, dei servizi e delle professioni, aziende di respiro locale, nazionale ma anche internazionale; presenti anche importanti rappresentanti di esponenti della cultura.

Nell'incontro sono stati delineati elementi di carattere generale rispetto alle attività dell'ateneo, una dettagliata presentazione della riprogettazione dell'offerta formativa ed il percorso di deliberazione degli organi di governo.

Sono stati illustrati gli obiettivi formativi specifici dei corsi di studio, le modalità di accesso ai corsi di studio, la struttura e i contenuti dei nuovi percorsi formativi e gli sbocchi occupazionali.

Sono emersi ampi consensi per lo sforzo di razionalizzazione fatto sui corsi, sia numerico sia geografico, anche a fronte di una difficoltà attuativa ma guidata da una chiarezza di sostenibilità economica al fine di perseguire un sempre più alto livello qualitativo con l'attenzione anche all'internazionalizzazione.

Consensi che hanno trovato riscontro in una votazione formale con esito unanime rispetto al percorso e alle risultanze della riprogettazione dell'Offerta formativa.

## **Obiettivi formativi specifici del corso e descrizione del percorso formativo**

La laurea magistrale in Nanotechnologies for ICTs, è interamente tenuta in lingua inglese. Il percorso formativo comprende approfondimenti relativi alla fisica dello stato solido ed alle tecniche di processo e caratterizzazione di nanomateriali, ai dispositivi elettronici e fotonici avanzati, alle applicazioni delle nanotecnologie, alle moderne tecniche di manipolazione di oggetti nanometrici, ai sistemi microelettronici integrati, ed alla nanoprogettazione assistita dal computer.

La tesi finale è svolta presso il Politecnico o presso istituzioni esterne pubbliche o private, nazionali o internazionali, con cui sono stabiliti rapporti di collaborazione. Esistono accordi con atenei di altri paesi per seguire periodi di studio e/o svolgere la tesi in collaborazione con referenti locali. In alcuni casi sono previsti percorsi per il conseguimento del doppio titolo.

Il corso di Laurea Magistrale è caratterizzato da una impostazione che, partendo dallo sviluppo di solide conoscenze nel settore della fisica della materia, della fisica delle interfacce e della tecnologia di processo dei materiali (in particolar modo le tecnologie provenienti dal mondo dell'Ingegneria ICT), offre competenze che spaziano dalle progettazione alla realizzazione di dispositivi e sistemi nanoelettronici, di micro e nanosensori, di micro e nanosistemi.

Il corso di Laurea Magistrale associa inoltre ad una solida preparazione in ambiti culturali propri dell'Ingegneria elettronica avanzata e dell'informazione un insieme coerente di competenze specifiche in Fisica della materia finalizzato allo sviluppo dei materiali e processi per la progettazione e realizzazione di ogni tipo di micro/nanodispositivo.

Il percorso di studi fornisce una formazione completa nei diversi settori di interesse specifico delle micro e nanotecnologie, integrati da approfondimenti nell'ambito delle tecniche di caratterizzazione di materiali e sistemi, dei dispositivi optoelettronici, dei dispositivi per la nanodiagnistica biomedicale, di dispositivi per la microfluidica, la robotica e l'elaborazione dell'informazione. I corsi a scelta permettono di costruire percorsi rivolti ad approfondimenti di aree specialistiche (dispositivi per la nanoelettronica, dispositivi per applicazioni biomedicali, dispositivi per l'energia, dispositivi nanofotonici) o percorsi interdisciplinari che includono significativi contenuti di altre aree dell'ingegneria e della fisica della materia.

L'Ingegnere nel settore delle Nanotecnologie con laurea Magistrale è in grado operare in ricerca, progetto e sviluppo alle frontiere della tecnologia operando sulla manipolazione della materia su scala micrometrica e nanometrica, dove occorre non solo usare componenti e metodologie avanzati, ma svilupparne di nuovi, per realizzare applicazioni innovative. Questo richiede la capacità di condurre progetti complessi, derivanti dalla conoscenza delle proprietà dei materiali alla nanoscala e dalla conoscenza delle tecniche di manipolazione alla nanoscala, per la realizzazione di micro e nanosistemi con prestazioni al limite della fattibilità tecnologica, di sviluppare nuovi componenti e sottosistemi ad hoc anche in forma di sistemi integrati, e di utilizzare procedure e metodi innovativi per la realizzazione di nanodispositivi. Gli ambiti applicativi spaziano dai vari settori delle tecnologie dell'informazione (telecomunicazioni, elaborazione dell'informazione, misure e sensoristica, internet of things) ad altre aree dell'ingegneria dove la miniaturizzazione e l'innovazione rivestono un ruolo determinante per le funzionalità e le prestazioni (ad esempio i settori dell'energia e del biomedicale, i settori veicolistico/trasporti, aerospazio, robotica, controllo ambientale, beni di consumo in genere).

Le micro e nanotecnologie hanno ormai una diffusione capillare nell'industria, nei servizi e in generale nella vita quotidiana, e possono offrire nuove soluzioni e nuovi sbocchi nei più svariati settori applicativi. Sul fronte progettuale, l'Ingegnere Magistrale è in grado di condurre analisi delle esigenze applicative e di sviluppare la loro conversione in specifiche di progetto, anche nel caso di micro e nanosistemi complessi.

## **Risultati di apprendimento attesi, espressi tramite i Descrittori europei del titolo di studio (DM 16/03/2007, art. 3, comma 7)**

### **Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding)**

Il laureato Magistrale in Nanotecnologie per le ICT ha solide conoscenze di base, acquisite nel corso di laurea triennale e consolidate nel corso del biennio della Magistrale; tali competenze spaziano negli ambiti della matematica, fisica, chimica, elettronica e informatica.

Nel corso di laurea Magistrale vengono consolidate e incrementate le competenze nella fisica della materia applicata alle nanotecnologie e delle tematiche di fisica avanzata ritenute di maggior impatto ed interesse per l'Ingegneria dei micro e nanodispositivi, in particolare per l'Ingegneria dell'informazione e della comunicazione. Tali conoscenze vengono successivamente integrate nei vari filoni dei micro e nanosistemi e nella loro applicazione all'ICT, alla dispositivistica elettronica, all'energia, al biomedicale, al monitoraggio ambientale.

Le conoscenze e competenze attese riguardano i diversi ambiti disciplinari caratterizzanti i sistemi elettronici di tipo complesso, oggetto del corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica, quali:

- ampia conoscenza della fisica della materia applicata alle nanotecnologie e delle tematiche di fisica avanzata ritenute di maggior impatto ed interesse per l'Ingegneria dei micro e nanodispositivi, in particolare per l'Ingegneria dell'informazione e della comunicazione;

- comprensione della necessità di utilizzare un approccio ed un procedimento

matematico rigoroso nella trattazione dei problemi ingegneristici, e delle tecniche e modalità attraverso le quali attuare tale procedimento;

- ampia ed approfondita conoscenza della meccanica quantistica, nonché conoscenza degli argomenti di fisica avanzata di rilevanza nel settore della nanofisica, delle nanoscienze e delle nanotecnologie, e più in generale per tutte le tecnologie industriali avanzate;

- conoscenza dei micro e nanosistemi, della elettronica avanzata e microelettronica di maggiore interesse per i micro e nanosistemi per applicazioni al settore dell'ICT, della salute, dell'automotive, dell'aeronautica e spazio e delle applicazioni all'ingegneria in genere;

- comprensione dei concetti, metodi e tecniche che consentono di impiegare ed integrare sinergicamente tali principi nello studio di problemi di tipo fisico ed elettronico;

- ampia conoscenza dei fondamenti della nanofisica, della nano-elettronica, con particolare riguardo alle tematiche dei micro e nanodispositivi, che si integrano specificamente con le tematiche proprie della fisica avanzata della materia;

- comprensione della necessità di ibridare concetti della nanofisica e concetti dell'ingegneria nella progettazione, caratterizzazione ed utilizzazione di dispositivi avanzati basati su fenomeni nanofisici anche complessi;

Queste conoscenze e capacità sono acquisite dagli studenti attraverso lezioni frontaliali, esercitazioni in aula e in laboratori informatici e di tipo sperimentale. Nella maggior parte degli insegnamenti sono anche presenti altre attività, condotte in modo autonomo da ciascuno studente o da gruppi di lavoro organizzati con specifici obiettivi, assistiti dai docenti, come ad esempio l'approfondimento di argomenti monografici e progetti di tipo settoriale e di tipo multidisciplinari. Ogni insegnamento indica quanti crediti sono riservati a ciascuna modalità didattica.

L'accertamento delle conoscenze e della capacità di comprensione avviene tramite esami scritti e orali, che comprendono quesiti relativi agli aspetti teorici ed applicativi e

tramite la discussione dei risultati delle attività autonome singole o di gruppo.

Si richiede:

- la capacità di integrare le conoscenze acquisite in insegnamenti e contesti diversi, e la capacità di valutare criticamente e scegliere tecnologie, modelli e metodi di soluzione;
- la conoscenza della lingua inglese a livello di padronanza della terminologia necessaria per stabilire una comunicazione di base con terzi su temi di carattere scientifico/ingegneristico;
- lo svolgimento di un lavoro autonomo di tesi di Laurea Magistrale, presso un Laboratorio di Livello Internazionale operante nei settori di riferimento della Laurea stessa.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione (applying knowledge and understanding)**

Al termine del percorso di studi lo studente sarà in grado di applicare le conoscenze e competenze acquisite nei vari ambiti a diversi contesti, fondendole insieme grazie ad un'intensa attività sperimentale e di laboratorio.

In particolare le conoscenze e tecniche acquisite consentono allo studente di:

- capacità di usare correttamente e con sicurezza i concetti della fisica della materia applicata alle nanotecnologie e della fisica avanzata a settori propri dell'Ingegneria;
- capacità di adattare i concetti della fisica della materia avanzata a specifici problemi inerenti a tematiche proprie dei micro e nanodispositivi applicati all'Ingegneria dell'informazione e della comunicazione, e capacità di integrare costruttivamente e con sicurezza le conoscenze ricevute su argomenti fisici diversi nella risoluzione di tali problemi;
- capacità di utilizzare tecniche di nanofisica moderna e nanotecnologie di interesse per la società industriale a tecnologia avanzata;
- capacità di applicare i concetti e le tecniche delle micro e nanoscienze e delle micro e nanotecnologie alla risoluzione di problemi di fisica avanzata della materia ed alla progettazione di dispositivi e sistemi basati su fenomeni tipici della fisica dello stato solido e della Nanofisica, e capacità di utilizzare componentistica adeguata al raggiungimento di un determinato obiettivo operativo;
- capacità di comprendere lezioni, seminari e conferenze su argomenti di fisica e di Ingegneria tenute in lingua inglese, e capacità di esprimersi correttamente in lingua inglese sia nella discussione sia nella presentazione pubblica dei propri risultati scientifici;
- definire le specifiche di un micro o nanosistema, di analizzarne le caratteristiche principali, determinandone le funzionalità, le tecnologie necessarie per la realizzazione, le criticità e quanto è necessario per la realizzazione sia a livello di prototipo sia a livello di produzione,
- progettare micro e nano dispositivi e sistemi complessi con diverse tecnologie, comprendendo e scegliendo le soluzioni tecnologiche più appropriate in funzione delle specifiche di progetto e procedendo al partizionamento del sistema in sottosistemi per poi giungere al progetto integrato delle varie parti anche con tecniche di co-progettazione e co-simulazione,
- progettare micro e nanosistemi multifunzionali da integrare nei sistemi elettronici avanzati
- progettare dispositivi avanzati e innovativi di tipo microelettronico, nanoelettronico o optoelettronico.

Modalità didattiche.

La capacità di applicare conoscenze e comprensione sono acquisite dallo studente tramite l'analisi e la progettazione guidata. Lezioni ed esercitazioni in aula sono fortemente correlate alle attività progettuali, e le attività sperimentali sono finalizzate alla progettazione integrata e completa di micro e nanodispositivi e dei relativi sistemi, con particolare enfasi alle verifiche di criticità e limiti dei modelli rispetto ai casi reali, l'ingegnerizzazione delle apparecchiature progettate, le verifiche funzionali nonché la caratterizzazione fisica del sistema progettato relativamente alle specifiche di partenza. Viene curata l'applicazione integrata di conoscenze acquisite in differenti insegnamenti o in modo autonomo.

Modalità di accertamento.

Gli accertamenti comprendono esami tradizionali (scritti e orali), con quesiti relativi agli aspetti teorici, all'analisi e al progetto di sottosistemi elettronici. I quesiti di progetto richiedono la valutazione comparata di diverse scelte ("problem solving"). Viene verificata la capacità di applicare le conoscenze acquisite a problemi nuovi, anche di carattere interdisciplinare.

Un accertamento complessivo delle capacità di applicare quanto appreso nei diversi insegnamenti avviene con la elaborazione della tesi di laurea. Questa prova finale richiede l'integrazione di conoscenze acquisite e la capacità di apportare nuovi sviluppi.

### **Autonomia di giudizio (making judgements)**

L'autonomia di giudizio viene esercitata quando agli studenti è richiesta l'analisi di un problema di preparazione e/o di processo di un nuovo materiale nanostrutturato, oppure la sua caratterizzazione mediante tecniche fisiche, oppure ancora lo sviluppo di un progetto anche complesso che coinvolge l'utilizzazione in sistemi microelettronici o di altro genere di micro e nanodispositivi operanti in base a fenomeni fisici avanzati. Normalmente la definizione dei parametri preparativi e di processo, oppure delle condizioni al contorno nella caratterizzazione fisica, oppure delle specifiche del progetto da sviluppare, è largamente indeterminata e necessita di essere attentamente valutata dallo studente che deve pervenire ad essere in grado di fare delle scelte personali in completa autonomia di giudizio. L'autonomia di giudizio viene acquisita attraverso il lavoro di studio personale o la discussione in attività di gruppo, la predisposizione di relazioni su problemi specifici, anche partendo da informazioni limitate o incomplete, e la preparazione della dissertazione finale. Il raggiungimento dei risultati di apprendimento previsti viene verificato nelle singole prove d'esame e nella prova finale.

### **Abilità comunicative (communication skills)**

Le abilità di comunicazione scritta (in lingua inglese) vengono sviluppate attraverso lo svolgimento di prove scritte d'accertamento, erogate in Inglese, previste da alcuni insegnamenti. Le abilità di comunicazione orale (in lingua inglese) vengono sviluppate attraverso: - la regolare frequenza agli insegnamenti che vengono interamente impartiti in inglese

- interrogazioni orali individuali previste per alcuni insegnamenti come parte della prova di accertamento
- presentazione di relazioni orali individuali o di gruppo (con l'ausilio di supporti informatici) su specifici argomenti di alcuni insegnamenti come parte della prova di accertamento
- presentazione (in lingua inglese) della tesi di laurea magistrale.

Queste attività consentono agli studenti di migliorare la comprensione dell'inglese tecnico e la capacità di espressione verbale. Tali adempimenti permettono allo studente di esercitare appieno le proprie capacità di analisi e di sintesi, di espressione in una lingua straniera, di lavoro in gruppo, di presentazione orale della propria attività ad una valutazione e di presentazione in forma scritta dei risultati ottenuti durante il lavoro di tesi di laurea magistrale. L'insieme di queste attività consente un completo sviluppo delle abilità di presentazione e comunicazione in pubblico da parte dello studente.

Il percorso formativo promuove l'attitudine a lavorare in un quadro internazionale attraverso attività e documentazione in lingua inglese. La discussione della prova finale (tesi) rappresenta il momento conclusivo del percorso formativo in cui lo studente esprime, insieme alle proprie competenze, le proprie abilità di comunicazione.

L'esposizione prevede la presentazione dinanzi ad una commissione di esperti, in lingua inglese, del lavoro svolto.

### **Capacità di apprendimento (learning skills)**

Gli insegnamenti del corso di studio sono specificamente calibrati allo scopo di sviluppare e/o ottimizzare le capacità di apprendimento degli studenti nei seguenti contesti:

- saper affrontare autonomamente l'analisi di problemi complessi di fisica della materia ed ingegneria applicate a nanodispositivi e micro/nanosistemi
- saper descrivere in modo rigoroso e quantitativo un fenomeno fisico o ingegneristico complesso
- saper concepire e sviluppare specifici passi di processo per il trattamento di nanomateriali e per l'ottenimento di specifiche funzionalità in micro e nanostrutture
- saper effettuare autonomamente, con rapidità ed efficacia, ricerche bibliografiche nella letteratura tecnica mondiale su argomenti di ricerca avanzata concernenti nanomateriali e nanotecnologie.

Il corso di studio deve permettere agli studenti di acquisire i fondamenti scientifici e metodologici necessari per iniziare con successo una attività lavorativa in ambito sia industriale (produzione ovvero ricerca e sviluppo) che di ricerca avanzata presso laboratori universitari o di enti di ricerca, pubblici e privato. Deve inoltre consentire agli studenti di poter accedere, previo superamento di una selezione, a corsi di dottorato nei settori della fisica della materia e dei dispositivi elettronici, in Italia ed all'estero.

Obiettivo primario e' infine quello di garantire agli studenti la piena conoscenza degli strumenti metodologici adeguati per permettere un aggiornamento continuo delle proprie competenze professionali in tempi successivi alla conclusione del proprio percorso di studi.

La verifica del raggiungimento di capacità di apprendimento si attua mediante la valutazione, da parte di docenti preposti, dell'attitudine degli studenti a ricercare nella letteratura scientifica esistente, assorbire, ritenere e saper utilizzare specifiche competenze di fisica avanzata ed ingegneria delle micro e nanostrutture in sede di valutazione del grado di apprendimento di quegli insegnamenti che maggiormente richiedono la conoscenza dello stato dell'arte in un settore di ricerca, e la capacità dello studente di richiamare estesamente concetti, formule ed approcci elaborati nel corso di uno o più insegnamenti precedentemente seguiti.

### **Conoscenze richieste per l'accesso** **(DM 270/04, art 6, comma 1 e 2)**

Costituiscono requisiti curriculari il titolo di laurea o di un diploma universitario di durata triennale ovvero di altro titolo di studio conseguito all'estero, riconosciuto idoneo, e le competenze e conoscenze che lo studente deve aver acquisito nel percorso formativo pregresso, espresse sotto forma di crediti riferiti a specifici settori scientifico-disciplinari o a gruppi di essi. In particolare lo studente deve aver acquisito un minimo di 40 cfu sui settori scientifico-disciplinari di base CHIM/07, FIS/01, FIS/03, ING-INF/05, MAT/02, MAT/03, MAT/05 e 60 cfu sui settori scientifico-disciplinari caratterizzanti e affini CHIM/07, FIS/01, FIS/02, FIS/03, FIS/04, ING-IND/22, ING-IND/31, ING-IND/33, ING-INF/01, ING-INF/02, ING-INF/03, ING-INF/04, ING-INF/05, ING-INF/06, ING-INF/07, MAT/06, MAT/07, MAT/08.

Inoltre, lo studente deve essere in possesso di un'adeguata preparazione personale e della conoscenza della Lingua inglese a livello QCER B2 o superiore, con riferimento anche ai lessici disciplinari.

Le modalità di verifica dell'adeguatezza della preparazione personale, i criteri per il riconoscimento della conoscenza certificata della lingua inglese e le modalità di superamento della prova di accesso sono riportati nel regolamento didattico del corso di studio.

### **Caratteristiche della prova finale** **(DM 270/04, art 11, comma 3-d)**

La prova finale ha un valore di 30 crediti, corrispondenti a un periodo di tempo di circa un semestre di lavoro a tempo pieno. Essa è costituita da una tesi da 30 crediti, oppure, in alternativa, da un tirocinio in azienda da 12 crediti seguito da una tesi da 18 crediti.

La tesi ha come oggetto un'analisi, un progetto o un'applicazione a carattere innovativo, relativi ad argomenti coerenti con gli obiettivi formativi del corso di studi, e lo sviluppo di un elaborato scritto conclusivo (Tesi di Laurea). Gli insegnamenti del secondo anno sono distribuiti in modo da poter dedicare un adeguato periodo allo sviluppo della prova finale. E' ammesso alla prova finale lo studente che ha completato il restante percorso formativo.

La tesi di Laurea Magistrale rappresenta una verifica complessiva della padronanza di contenuti tecnici e delle capacità di organizzazione, di comunicazione, e di lavoro individuali, relativamente allo sviluppo di analisi o di progetti complessi. Le attività previste nella prova finale richiedono normalmente l'applicazione di quanto appreso in più insegnamenti, l'integrazione con elementi aggiuntivi e la capacità di proporre spunti innovativi. L'argomento e le attività relative alla prova finale sono concordati con un docente del Politecnico (un relatore di tesi e un referente del tirocinio, nel caso quest'ultimo sia previsto). Le attività possono essere condotte anche presso altri enti o aziende, in Italia o all'estero, sotto la supervisione di un docente relatore del Politecnico e di un tutor della sede esterna.

Le attività relative alla preparazione della Tesi di Laurea ed i relativi risultati devono essere presentati e discussi pubblicamente, in presenza di una commissione di docenti che esprime una valutazione del lavoro svolto e della presentazione.

La tesi di Laurea e la presentazione possono essere in lingua inglese.

Modalità di assegnazione e dettagli sullo svolgimento della prova finale sono precisati nel regolamento didattico del Corso di Studi.

### **Motivi dell'istituzione di più corsi nella classe**

La III Facoltà d'Ingegneria del Politecnico di Torino ha progettato due corsi di Laurea Magistrale nella stessa classe di Ingegneria elettronica (LM-29) denominati "Ingegneria Elettronica (Electronic engineering)" e "Nanotechnologies for ICTs". Il primo è la trasformazione in Laurea Magistrale dell'attuale corso di Laurea Specialistica in Ingegneria elettronica mentre il secondo è la trasformazione del corso di Laurea Specialistica in Nanotecnologie per le ICT.

Si può affermare che il corso di Laurea Magistrale in Ingegneria elettronica è caratterizzato da una impostazione ad ampio spettro, e offre competenze che spaziano dalle tecnologie alla progettazione di circuiti e sistemi e agli aspetti algoritmici e applicativi, ed una solida formazione nei diversi settori di interesse specifico dell'elettronica, integrati dai approfondimenti nell'ambito delle misure, dei campi elettromagnetici, e dell'elaborazione digitale dell'informazione.

Il corso di Laurea Magistrale in Nanotechnologies for ICTs pone l'infisca sulla cultura ingegneristica in particolare nell'ambito delle tecnologie ICT (ovvero tecnologie dell'informazione e della comunicazione) e sulla preparazione nelle aree della Fisica della materia rivolte alle micro/nanotecnologie, dei materiali e dei processi necessari allo sviluppo di micro/nanodispositivi destinati a occupare una frazione sempre crescente del mercato globale. Il corso di studi associa quindi ad una solida preparazione in ambiti culturali propri dell'Ingegneria elettronica avanzata un insieme coerente di competenze specifiche in Fisica della materia finalizzate allo sviluppo dei materiali e processi per la progettazione di ogni tipo di micro/nanodispositivo.

Al fine di favorire il processo di internazionalizzazione del Politecnico di Torino il corso di Laurea Magistrale in Ingegneria elettronica è totalmente erogato sia in lingua italiana sia in lingua inglese mentre il corso di Laurea Magistrale in Nanotechnologies for ICTs è erogato totalmente in lingua inglese.

Le caratterizzazioni dei due corsi di Laurea Magistrale hanno determinato una differenziazione per più di 30 crediti per cui, sulla base delle indicazioni della nota ministeriale 160/09, il Politecnico di Torino ha scelto di istituire due diversi corsi di studio all'interno della stessa classe.

### **Comunicazioni dell'ateneo al CUN**

Per rispondere al rilievo sulle competenze linguistiche è stato inserito nelle "Altre attività Ulteriori attività formative (art. 10 comma 5 lettera d)" un intervallo 0-6 per Ulteriori conoscenze linguistiche.

Per coerenza con quanto fatto con altre LM che hanno ricevuto il medesimo rilievo, è stato altresì modificato il Quadro A3a Conoscenze richieste per l'accesso inserendo il periodo "Inoltre, lo studente deve essere in possesso di un'adeguata preparazione personale e della conoscenza della Lingua inglese a livello QCER B2 o superiore, con riferimento anche ai lessici disciplinari".

### **Sbocchi occupazionali e professionali previsti per i laureati**

### **Progettista di micro e nanodispositivi. Progettista di micro e nanosistemi.**

**funzione in un contesto di lavoro:**

Il laureato magistrale in Nanotechnologies for ICTs partecipa alla progettazione ed all'ottimizzazione di micro e nanodispositivi integrabili in circuiti elettronici e microelettronici o in sistemi complessi di varia natura a partire dalle specifiche. Egli opera la selezione dei materiali, dei processi di realizzazione e dei micro/nanodispositivi, curando gli aspetti di integrazione dei componenti attivi e passivi, il progetto del sistema complessivo ed infine il collaudo finale. Un progettista di nanodispositivi deve sviluppare in dettaglio, a seconda delle richieste, sensori, attuatori, dispositivi microfluidici, le cui funzionalità sono basate su fenomeni di trasporto quantistico in sistemi di elettroni confinati su scala nanometrica, o su altri tipi di fenomeni fisici collegati alle dimensioni micro e nanometriche e alle superfici e interfacce. Tali nanodispositivi possono anche essere integrabili in sistemi per tutti gli impieghi nelle micro- e nanotecnologie applicate alle ICT. L'area applicativa include la raccolta e l'elaborazione di dati e di segnali prodotti da sorgenti anche di bassissima intensità quali i sistemi biologici, la memorizzazione dell'informazione, l'elaborazione ed il trasferimento dell'informazione. Le applicazioni coprono campi quali ICT, medicina e agroalimentare, energia e ambiente.

**competenze associate alla funzione:**

Per questo ruolo un aspetto chiave è la conoscenza approfondita dei più importanti principi della fisica quantistica, della fisica della materia e delle superfici, del trasporto elettronico in sistemi a bassa dimensionalità quali ad esempio strati ultrasottili, multistrati ibridi e nanofili. Sono altresì necessarie competenze specifiche sui principali metodi di preparazione, processo e caratterizzazione dei materiali artificiali per applicazioni alle nanotecnologie e nanomateriali in cui si manifestano effetti di confinamento quantistico e di superficie. Inoltre il ruolo comporta la conoscenza approfondita dei circuiti per la microelettronica, dei dispositivi ottici e fotonici, dei sistemi micro-elettro-meccanici e microfluidici, nonché delle tecniche informatiche per la simulazione, la modellizzazione e progettazione di materiali nanostrutturati e microsistemi. L'ingegnere in nanotecnologie ha le competenze necessarie per progettare, effettuare ed analizzare misure in laboratorio, che includono il progetto ed il controllo di parametri di processo di nanomateriali, la caratterizzazione morfologica a livello nanoscopico dei materiali ottenuti ad ogni successivo passo di processo, la caratterizzazione fisica dei nanomateriali funzionali.

**sbocchi occupazionali:**

Il laureato magistrale in Nanotechnologies for ICTs progettista in nanodispositivi può accedere ad opportunità di occupazione assai buone a motivo della specificità e unicità della figura professionale sviluppata, che può trovare impiego presso numerosissime industrie di elettronica, microelettronica e high-tech italiane ed europee.

Le tematiche trattate nel corso di laurea magistrale relative ai nanodispositivi coincidono con molti punti qualificanti degli ultimi programmi-quadro dell'Unione Europea. Nel piano di ricerca nazionale italiano, le micro/nanotecnologie occupano una consistente e qualificata frazione degli attuali obiettivi strategici. Questo significa che le nanotecnologie sono e continueranno ad essere considerate un settore strategico per tutte le economie avanzate.

Il laureato trae vantaggio dal ricevere la formazione in lingua inglese, in quanto la conoscenza di questa lingua è diventata fondamentale per bene operare e per tenersi costantemente aggiornati nel settore delle nanotecnologie ed in generale delle tecnologie avanzate. In entrambi gli orientamenti gli studenti traggono beneficio del particolare ambiente multi-etnico formato dagli studenti stranieri che da numerosi Paesi di tutto il mondo si iscrivono a questa laurea magistrale.

**Ingegnere di ricerca in micro e nanotecnologie. Ingegnere di ricerca in micro e nanosistemi.****funzione in un contesto di lavoro:**

Il laureato magistrale in Nanotechnologies for ICTs svolge attività di ricerca fondamentale o applicata in laboratori o industrie dove vengono sviluppati nuovi tipi di nanomateriali o dove vengono studiati nuovi fenomeni fisici di interesse per le micro e nanotecnologie. La ricerca in questi settori viene condotta in gruppi nei quali sono tipicamente presenti figure professionali diverse e complementari, quali ingegneri, fisici, chimici, scienziati dei materiali e biologi. L'ingegnere in nanotecnologie è in grado di preparare nuovi nano materiali e progettare nuovi dispositivi grazie alle sue competenze teoriche e pratiche di tutte le più avanzate tecniche di preparazione, crescita, e processo. È inoltre in grado di effettuare lo studio delle proprietà strutturali, morfologiche e fisiche di ogni singolo nanomateriale e di implementare sistemi ibridi in cui vengono associati nanomateriali diversi.

**competenze associate alla funzione:**

Per questo ruolo un aspetto chiave è la conoscenza approfondita dei più importanti principi che regolano il comportamento della materia alla scala nanometrica, degli elettroni e delle eccitazioni elementari di natura fononica, magnonica, eccitonica in sistemi metallici e/o semiconduttori a bassa dimensionalità quali ad esempio strati ultrasottili e superfici/interfacce, multistrati ibridi e nanofili. Sono altresì necessarie competenze teorico-pratiche sui metodi di preparazione e processo in laboratorio dei nanomateriali, con particolare riferimento ai metodi di nanomanipolazione di superfici attraverso tecniche di forza atomica, di caratterizzazione strutturale e morfologica a risoluzione spaziale micrometrica e submicrometrica, di rilevazione della presenza di contaminanti superficiali. Inoltre occorre avere un'ottima conoscenza dei metodi per la caratterizzazione fisica completa di nuovi nano materiali e delle superfici. Inoltre il ruolo comporta la conoscenza approfondita di aspetti teorici della fisica della materia avanzata e di paradigmi della matematica avanzata quali vengono sviluppati nei corsi opzionali. L'ingegnere di ricerca in nanotecnologie ha le competenze necessarie per progettare, sviluppare, caratterizzare in laboratorio nuovi nanomateriali sulla base di specifiche esigenze della committenza ovvero dell'avanzamento del livello di conoscenza fornito dalle attività internazionali di ricerca nel settore specifico. È in grado di partecipare attivamente a progetti di ricerca avanzata banditi da enti o istituzioni nazionali ed europee.

**sbocchi occupazionali:**

Il laureato magistrale in Nanotechnologies for ICTs, ingegnere operante nel settore della ricerca sulle nanotecnologie, può trovare impiego nel settore R&D presso industrie high-tech italiane ed europee.

Le tematiche trattate nel corso di laurea magistrale coincidono con molti punti qualificanti degli ultimi programmi-quadro dell'Unione Europea. Nel piano di ricerca nazionale italiano le micro/nanotecnologie occupano una consistente e qualificata frazione degli attuali obiettivi strategici. Questo significa che le nanotecnologie sono e continueranno ad essere considerate un settore strategico per tutte le economie avanzate.

Il laureato trae vantaggio dal ricevere la formazione in lingua inglese, in quanto la conoscenza di questa lingua è diventata fondamentale per bene operare e per tenersi costantemente aggiornati nel settore delle nanotecnologie ed in generale delle tecnologie avanzate. In entrambi gli orientamenti gli studenti traggono beneficio del particolare ambiente multi-etnico formato dagli studenti stranieri che da numerosi Paesi di tutto il mondo si iscrivono a questa laurea magistrale.

**Sviluppatore di micro e nanotecnologie. Sviluppatore di micro e nanosistemi.**

**funzione in un contesto di lavoro:**

Il laureato magistrale in Nanotechnologies for ICTs partecipa ad attività di sviluppo di micro e nanotecnologie specifiche proprie del settore ICT, per applicazioni alla biomedicina e biologia in genere, all'energetica ed all'ambiente. Uno sviluppatore di micro e nanotecnologie deve progettare in dettaglio, a seconda delle richieste, sistemi di rilevazione o di attuazione, sistemi microfluidici e di analisi, anche complessi, largamente basati sulla microelettronica integrabile su chip ed operante in base al funzionamento di uno o più tipi di micro e nanodispositivi. Lo sviluppatore di micro e nanotecnologie deve organizzare tali sistemi integrati in modo da ottimizzarne le proprietà, aumentarne la robustezza strutturale e funzionale, e la portabilità. L'area applicativa include metodi di rilevamento di contaminanti ambientali presenti in concentrazioni anche deboli, di rilevamento di singole molecole in ambienti biologici, di filtraggio selettivo di specie moleculari nocive, di micromanipolazione di tessuti biologici, include lo stoccaggio e la produzione delle energia, il monitoraggio ambientale e degli alimenti.

**competenze associate alla funzione:**

Per questo ruolo un aspetto chiave è la conoscenza approfondita delle proprietà della materia a scala nanometrica, della microelettronica, dei dispositivi ottici e fottonici avanzati, dei microsistemi elettro-mecanici, delle micro- e nanotecnologie applicabili a problemi energetici, ambientali e biomedici, delle tecniche di micro- e nanomanipolazione e nanoprocess. Lo sviluppatore di micro e nanotecnologie ha le competenze necessarie per progettare e sviluppare nuove tecnologie sulla base di specifiche esigenze della committenza. Ha inoltre le competenze per operare attivamente all'interno di un laboratorio industriale di sviluppo, e per interagire sinergicamente con i ricercatori dotati di una formazione complementare.

**sbocchi occupazionali:**

Il laureato magistrale in Nanotechnologies for ICTs, sviluppatore di nanotecnologie, può trovare impiego nel settore R&D presso industrie di elettronica, microelettronica, high-tech italiane ed europee operanti nel settore dell'energia, della diagnostica biomedicale, dell'automazione e robotica e nel settore dell'ICT in genere.

Le tematiche trattate nel corso di laurea magistrale coincidono con molti punti qualificanti degli ultimi programmi-quadro dell'Unione Europea. Nel piano di ricerca nazionale italiano le micro/nanotecnologie occupano una consistente e qualificata frazione degli attuali obiettivi strategici. Questo significa che le nanotecnologie sono e continueranno ad essere considerate un settore strategico per tutte le economie avanzate nell'attuale momento storico.

Il laureato trae vantaggio dal ricevere la formazione in lingua inglese, in quanto la conoscenza di questa lingua è diventata fondamentale per bene operare e per tenersi costantemente aggiornati nel settore delle nanotecnologie ed in generale delle tecnologie avanzate. In entrambi gli orientamenti gli studenti traggono beneficio del particolare ambiente multi-etnico formato dagli studenti stranieri che da numerosi Paesi di tutto il mondo si iscrivono a questa laurea magistrale.

**Il corso prepara alla professione di (codifiche ISTAT)**

- Ingegneri elettronici - (2.2.1.4.1)

**Il corso consente di conseguire l'abilitazione alle seguenti professioni regolamentate:**

- ingegnere dell'informazione

**Il rettore dichiara che nella stesura dei regolamenti didattici dei corsi di studio il presente corso ed i suoi eventuali curricula differiranno di almeno 30 crediti dagli altri corsi e curriculum della medesima classe, ai sensi del DM 16/3/2007, art. 1 §2.**

**Attività caratterizzanti**

ambito disciplinare	settore	CFU		minimo da D.M. per l'ambito
		min	max	
Ingegneria elettronica	ING-INF/01 Elettronica	45	58	-
<b>Minimo di crediti riservati dall'ateneo minimo da D.M. 45:</b>				-

**Totale Attività Caratterizzanti**

45 - 58

### Attività affini

ambito disciplinare	settore	CFU		minimo da D.M. per l'ambito
		min	max	
Attività formative affini o integrative	FIS/03 - Fisica della materia	14	30	<b>12</b>

<b>Totale Attività Affini</b>	14 - 30
-------------------------------	---------

### Altre attività

ambito disciplinare		CFU min	CFU max
A scelta dello studente		12	12
Per la prova finale		18	30
Ulteriori attività formative (art. 10, comma 5, lettera d)	Ulteriori conoscenze linguistiche	0	6
	Abilità informatiche e telematiche	-	-
	Tirocini formativi e di orientamento	0	12
	Altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro	-	-
	Minimo di crediti riservati dall'ateneo alle Attività art. 10, comma 5 lett. d	3	
Per stages e tirocini presso imprese, enti pubblici o privati, ordini professionali		-	-

<b>Totale Altre Attività</b>	33 - 60
------------------------------	---------

### Riepilogo CFU

<b>CFU totali per il conseguimento del titolo</b>	<b>120</b>
<b>Range CFU totali del corso</b>	92 - 148

### Motivazioni dell'inserimento nelle attività affini di settori previsti dalla classe o Note attività affini

#### Note relative alle altre attività

#### Note relative alle attività caratterizzanti

RAD chiuso il 08/05/2019