**Il corso online LS-EDU in Fisica Moderna**

**Ilaria DE ANGELIS**1,2**, Settimio MOBILIO**3**, Adriana POSTIGLIONE**1,2

1*Dipartimento di Matematica e Fisica, Università degli Studi Roma Tre, Roma*

2*INFN, Sezione di Roma Tre, Roma*

3*Dipartimento di Scienze, Università degli Studi Roma Tre, Roma*

e-mail di riferimento: ilaria.deangelis@uniroma3.it

**Riassunto** Il corso online in Fisica Moderna LS-EDU è nato per rafforzare e aggiornare le conoscenze dei docenti su argomenti che vanno dalla Fisica Quantistica alla Relatività Ristretta, dalla Fisica delle Particelle Elementari alla Fisica della Materia Condensata, dall’Astrofisica e Cosmologia all’Ottica Quantistica. L'obiettivo del corso è fornire ai docenti una conoscenza ed una padronanza degli argomenti di Fisica avanzata più ampia di quella strettamente prevista nelle Indicazioni Nazionali, in modo che essi acquisiscano la confidenza necessaria per organizzare la loro didattica della Fisica Moderna. Il corso è stato erogato per la prima volta a maggio 2016, ed è arrivato oggi alla sua ventesima edizione, coinvolgendo oltre 1500 docenti in servizio di tutta Italia. Esso, quindi, fornisce un importante esempio di corso di aggiornamento improntato sul rafforzamento delle conoscenze e delle competenze dei docenti in servizio.   
  
**Abstract** The online course on Modern Physics LS-EDU was created to reinforce and update teachers’ knowledge on topics ranging from Quantum Mechanics to Special Relativity, from Particle Physics to Condensed Matter Physics, from Astrophysics and Cosmology to Quantum Optics. The aim of the course is to provide teachers with a much broader knowledge than is specified by the Indicazioni Nazionali, so that they can have sufficient confidence to autonomously organize their Modern Physics teaching. The course was held for the first time in May 2016 and has now reached its 20th edition, involving more than 1500 teachers from all over Italy. It therefore represents an important example of a refresher course based on strengthening the knowledge and skills of teachers in service.

1. **Introduzione**

L’insegnamento della fisica nelle scuole superiori deve oggi includere anche argomenti di Fisica Moderna, in modo da dare agli studenti una visione più attuale della disciplina e renderli consapevoli delle ultime scoperte scientifiche e delle loro applicazioni tecnologiche. Le Indicazioni Nazionali del 2010 [1], infatti, inseriscono in maniera istituzionale la Fisica Moderna nell’insegnamento che un docente deve proporre nella Scuola Secondaria Superiore, in particolare nel Liceo Scientifico. D’altra parte, però, il percorso formativo svolto dalla maggioranza dei docenti di Fisica non ha affrontato tali argomenti: basti pensare ai laureati in Matematica che pure insegnano sia Matematica che Fisica. Inoltre, anche molti laureati in Fisica, pur avendo già affrontato nella loro formazione universitaria questi argomenti, esprimono la necessità di riprendere e aggiornare quanto studiato.

Negli ultimi anni, diverse iniziative sono state portate avanti da Università ed Enti di Ricerca per supportare i docenti nella trattazione di argomenti di Fisica Moderna; molte di esse sono state sviluppate nell’ambito del Piano Lauree Scientifiche (PLS) [2-3]. Di queste iniziative, molte hanno fornito occasioni esterne all’ambiente scolastico tese ad avvicinare i giovani alla Fisica Moderna, altre hanno avuto l’obiettivo di rendere i docenti in grado di proporre essi stessi questi argomenti a scuola nella loro didattica abituale.

Numerosi sono stati infatti i corsi di formazione e/o aggiornamento proposti localmente dalle diverse sedi universitarie nelle quali è attivo il PLS di Fisica [4-5]. Per la sua dimensione interuniversitaria ricordiamo in particolare il Master universitario di II livello IDIFO (Innovazione Didattica in Fisica e Orientamento) istituito presso l'Università degli Studi di Udine, collaborazione tra ben 18 diverse Università degli Studi nata con l’obiettivo di formare gli insegnanti su innovazione didattica e didattica laboratoriale [6-7]. Nel 2013, inoltre, è nato il Master biennale di secondo livello “Professione Formatore in Didattica delle Scienze” (PFDS) [8], finalizzato alla formazione *post- lauream* degli insegnanti in servizio della scuola secondaria di primo e secondo grado, nell’intento di arricchirne il profilo professionale con competenze specifiche per la didattica laboratoriale e l’uso di nuove tecnologie. Inizialmente finanziato dal MIUR il master PFDS nella prima edizione ha visto la collaborazione di quattro sedi (Tor Vergata, Bari, Calabria e Udine); successivamente è stato riproposto due volte nel 2015 e nel 2017 dalla sola Università di Tor Vergata.

La quasi totalità di queste iniziative è stata erogata in presenza, e, grazie alla forte interazione con le persone, ha contribuito a creare un ponte tra i docenti della scuola e i ricercatori dell’università o dell’ente di ricerca sede del corso. La modalità in presenza, inoltre, ha permesso una più facile realizzazione anche di attività in laboratorio, molto importanti per assimilare e far propri i contenuti affrontati. D’altro canto, però, tale modalità di fruizione ha due caratteristiche che ne limitano la valenza: è un’iniziativa locale e quindi si rivolge a un numero di docenti che vivono o svolgono la loro attività nelle vicinanze di un centro particolare; ha in genere una durata ridotta a causa delle poche ore disponibili per un docente in servizio per potersi recare fisicamente all’Università, e quindi prevede un numero di argomenti limitato rispetto a quelli che invece un docente deve oggi conoscere approfonditamente per affrontare l’insegnamento della Fisica al livello oggi previsto dalle Indicazioni Nazionali.

Un corso erogato in modalità online, invece, seppur perdendo l’interazione diretta e immediata tra educatore e partecipanti e tra i partecipanti stessi e rendendo molto più difficile la realizzazione di attività in laboratorio, riesce a raggiungere tutte le realtà a livello nazionale. Inoltre, un corso online asincrono lascia decidere all’utente quando svolgere la sua formazione, permettendogli di integrare la normale attività lavorativa e di vita quotidiana con la fruizione del corso. Esso, quindi, può prevedere un numero più elevato di ore di formazione, affrontando in modo approfondito gli argomenti trattati; esso può dare ai docenti una conoscenza maggiore di quella che poi effettivamente riverseranno in classe, ma necessaria per acquisire sicurezza sugli argomenti trattati e capacità di rispondere alle domande e alle curiosità degli studenti, soprattutto a quelle dei più bravi.

È proprio in questo scenario che nel maggio del 2016 nasce il corso online Fisica Moderna LS-EDU [9], che affronta in modo esauriente gli aspetti della Fisica Moderna previsti nelle Indicazioni Nazionali che gli insegnanti devono trattare in classe prevalentemente al V anno del liceo scientifico. Gli argomenti del corso spaziano dalla Fisica Quantistica alle Relatività Ristretta, dalla Fisica delle Particelle Elementari alla Fisica della Materia Condensata, dall’Astrofisica e Cosmologia all’Ottica Quantistica.

1. **Il corso online LS-EDU in Fisica Moderna**

Il corso online LS-EDU di Fisica Moderna, organizzato nell’ambito del progetto [LS-OSA](http://ls-osa.uniroma3.it/) [10] a cura del [Dipartimento di Scienze dell'Università Roma Tre](https://www.scienze.uniroma3.it/) è stato promosso dalla Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici, per la valutazione e l’internazionalizzazione del sistema nazionale di istruzione del Ministero dell’Istruzione. Il corso è rivolto a chi intende acquisire una visione completa degli argomenti di base e avanzati della [Fisica](https://ls-edu.uniroma3.it/local/staticpage/view.php?page=corso_fisica) per essere in grado di insegnare questa disciplina nella scuola media superiore. Esso ha l'obiettivo di aggiornare gli attuali docenti e di formare i futuri insegnanti sugli aspetti della Fisica Moderna previsti dalle Indicazioni Nazionali del Liceo Scientifico.

Il corso fornisce ai docenti una conoscenza ed una padronanza degli argomenti molto più ampia di quella strettamente necessaria esplicitata nelle Indicazioni Nazionali, cosicché essi possano avere la confidenza sufficiente per organizzare la loro didattica in autonomia. Si è scelto quindi di fornire contenuti e conoscenze di Fisica Moderna senza soffermarsi sullo sviluppo e la condivisione di materiali didattici già pronti: il compito di costruire e organizzare una didattica su questi argomenti viene lasciata al docente.

Il corso si concentra sulla Relatività e la Fisica Quantistica in maniera più approfondita, considerando gli altri aspetti della Fisica Moderna (Astrofisica e Cosmologia, Ottica Quantistica, Struttura della Materia, Fisica delle Particelle) come approfondimenti; esso fornisce così un quadro completo degli argomenti di base ed una visione generale di quelli più avanzati. Il corso tratta solo di sfuggita la Relatività Generale. Tutti gli argomenti sono proposti e trattati in modo rigoroso, ma con un formalismo matematico “semplificato” in particolare per quanto riguarda i due moduli di Fisica Quantistica e di Relatività ristretta.

Il corso è proposto in modalità online asincrona, scelta effettuata sia per raggiungere docenti in tutta Italia, sia per lasciare totale libertà nella tempistica di fruizione dei contenuti che i docenti possono così liberamente conciliare con i loro gravosi impegni lavorativi.

1. **Struttura del corso**

Il corso prevede un impegno orario complessivo equivalente a 120 ore di didattica tradizionale, corrispondenti a 15 CFU universitari ed è composto da 6 moduli: 2 moduli della durata di 28 ore ciascuno (corrispondenti a Fisica Quantistica e Relatività Ristretta), e da 4 moduli della durata di 16 ore ciascuno che trattano gli altri aspetti della fisica moderna (Fisica delle Particelle Elementari, Fisica della Materia Condensata, Astrofisica e Cosmologia, Ottica Quantistica e Laser). È possibile l’iscrizione ai singoli moduli o all’intero corso. Per ogni modulo sono disponibili video-lezioni, dispense, test di autovalutazione, forum e questionari di verifica.

* 1. *Struttura dei moduli*

I sei moduli del corso sono erogati tramite un corso Moodle ospitato sulla piattaforma LS-EDU.

Ogni modulo è composto da videolezioni (da sei a nove a seconda del modulo), che mostrano il docente con accanto le slide che sta spiegando, in modo da riprodurre una normale lezione frontale svolta in aula. Durante la videolezione, circa ogni 20 minuti, sono proposte delle semplici domande che riprendono una frase da poco enunciata dal docente e che servono principalmente per tenere alta l’attenzione del corsista. Moodle infatti, attraverso l’attività denominata “lezione”, permette di creare diverse pagine da fruire sequenzialmente o con diversi percorsi e opzioni. In questo modo, dopo aver ricevuto l’esito della sua risposta alla domanda, il corsista può decidere se proseguire con la porzione di video successiva, rivedere la porzione precedente o provare un’altra domanda.

Alla fine di ciascuna videolezione viene proposto un quiz con domande a risposta multipla che permettono al corsista di svolgere un’auto-verifica del proprio apprendimento e di esercitarsi; il quiz non è obbligatorio e non impedisce il proseguimento dello studio con la visione della videolezione successiva. Per ogni lezione sono disponibili, in formato pdf, le slides presentate dal docente.

Ad ogni lezione è poi dedicato un forum, seguito da un tutor/docente, che permette ai partecipanti di fare domande di approfondimento o chiarimento, e di confrontarsi con i colleghi.

È inoltre presente un forum generale del modulo dove possono essere poste domande al tutor/docente relative ad argomenti generali inerenti agli argomenti del modulo, ma non strettamente collegati ad un singolo argomento affrontato in una delle lezioni.

Infine, per ogni modulo è disponibile, in un file pdf, il parlato scritto delle lezioni, che costituisce una dispensa completa e utile per il ripasso degli argomenti trattati.

Al termine di ogni modulo del corso è previsto un questionario a risposta multipla, con quesiti più complessi di quelli dei quiz di autovalutazione, la cui soluzione richiede di saper integrare tra loro gli argomenti delle lezioni del modulo. Il superamento di questo quiz è necessario per poter ottenere la certificazione di frequenza del modulo.



Figura 1. Esempio del layout di una videolezione

* 1. *Certificazioni*

Il corso fornisce due tipologie di certificazioni, una di pura frequenza e l’altra di frequenza con acquisizione di Crediti Formativi Universitari.

Per la certificazione di pura frequenza è necessario seguire i singoli moduli e superare le verifiche previste alla fine di ciascun modulo. La verifica si svolge online e ha la durata di 2 ore; consiste in 6 quesiti a scelta multipla e si supera con almeno 4 risposte corrette. La certificazione di frequenza è a due livelli, di frequenza con superamento delle prove di valutazione e di frequenza con superamento delle prove di valutazione con lode. Per ricevere questo secondo attestato occorre superare le prove di valutazione di fine modulo con punteggio pieno.

Per la certificazione con acquisizione dei CFU occorre sostenere un esame in presenza presso l’Università Roma Tre, necessario per la prevista identificazione della persona che svolge la prova.

La prova ha la durata di 3 ore e consiste in 10 quesiti a scelta multipla, di cui 3 di Fisica Quantistica, 3 di Relatività ristretta e 4 da scegliere tra gli 8 quesiti proposti sugli altri argomenti del corso (2 per ogni modulo). La prova si considera superata con un punteggio minimo complessivo di 6/10, di cui almeno 2 punti conseguiti nei quesiti di Fisica Quantistica e 2 nei quesiti di Relatività. Il punteggio è certificato in trentesimi. Per conseguire la lode è necessario ottenere un punteggio complessivo di 30/30 e aver ottenuto la lode nelle prove finali di tutti i moduli.

* 1. *Contenuti dei singoli moduli* 
     1. *Modulo di Fisica Quantistica*

Il modulo di Fisica Quantistica, tenuto dal prof. Vittorio Lubicz dell’Università Roma Tre, presenta un quadro completo della teoria, partendo dalla crisi della fisica classica e giungendo ai suoi aspetti più significativi.

Nella prima parte del modulo vengono discusse le evidenze sperimentali che hanno portato alla scoperta delle leggi quantistiche ed i principi fondamentali alla base di queste leggi: il carattere probabilistico della teoria, il ruolo della misura, il principio di indeterminazione. Vengono quindi illustrate le previsioni quantistiche per alcuni importanti sistemi fisici, dalla particella libera all'oscillatore armonico, all'atomo di idrogeno.

Una breve rassegna dei lavori scientifici originali sulla meccanica quantistica, pubblicati negli anni 1925-1927, introduce alla seconda parte del modulo, nella quale vengono approfonditi alcuni aspetti della teoria: la quantizzazione del momento angolare, il comportamento delle particelle identiche, l'entanglement quantistico.

Il modulo si conclude quindi con una breve discussione sui problemi interpretativi e concettuali che la meccanica quantistica, malgrado il suo indiscusso successo nella descrizione del mondo fisico, ancora oggi pone.

Il modulo è formato da 6 lezioni:

* Crisi della Fisica Classica: la fisica classica, lo spettro di corpo nero, l'effetto fotoelettrico, l'effetto Compton, dualismo onda/particella, la struttura dell'atomo, l'atomo di Bohr.
* I principi della meccanica quantistica: esperimenti di interferenza con pallottole, onde ed elettroni, il principio di indeterminazione, la matematica della meccanica quantistica, i principi della meccanica quantistica, la meccanica quantistica e gli integrali sui cammini.
* Equazione di Schrodinger e sistemi quantistici: l'equazione di Schrodinger, le osservabili e gli operatori, la particella libera, la buca di potenziale infinita, la barriera di potenziale e l'effetto tunnel, l'oscillatore armonico, l'atomo di idrogeno.
* I lavori originali del periodo 1925 / 1927.
* Il momento angolare: simmetrie e leggi di conservazione, momento angolare orbitale e spin, la quantizzazione del momento angolare, la composizione dei momenti angolari.
* Nuovi fenomeni, sviluppi e interpretazioni: particelle identiche, il principio di esclusione di Pauli, probabilità e variabili nascoste, il collasso della funzione d'onda, gli stati entangled, le disuguaglianze di Bell, le difficoltà interpretative della meccanica quantistica.
  + 1. *Modulo di Relatività Ristretta*

Il modulo di Relatività Ristretta, tenuto dal prof. Settimio Mobilio, presenta la teoria della relatività ristretta, inquadrandola storicamente e mostrando come gli assiomi assunti da Einstein permettano di comprendere e spiegare in modo semplice e naturale le problematiche connesse alla propagazione della luce e alla descrizione dei fenomeni elettromagnetici nei sistemi di riferimento inerziali. Viene illustrato come i concetti di tempo, di spazio, velocità vengano profondamente modificati, approfondendone il significato e analizzandoli in dettaglio in quelle situazioni che danno origine ai cosiddetti paradossi della relatività. Vengono poi illustrate le implicazioni sulle leggi della dinamica, la equivalenza massa-energia, i limiti del concetto di interazione a distanza, le interconnessioni dei fenomeni elettromagnetici osservati in sistemi di riferimento diversi. L'approccio utilizzato è principalmente di tipo storico, con un uso limitato di formalismi. Nella parte finale viene ripercorsa tutta la relatività utilizzando il formalismo covariante, per illustrarne l'efficacia. Il modulo si conclude con una breve introduzione alla relatività generale e con una breve rassegna delle applicazioni della relatività.

In particolare, il modulo è formato da 9 lezioni sui seguenti argomenti:

* La nascita della Relatività: etere luminifero e problematiche connesse, aberrazione stellare, esperimento di Fizeau, l'elettromagnetismo, le onde elettromagnetiche e la relatività galileiana, esperimento di Michelson e Morley.
* Le ipotesi di Einstein e loro conseguenze: le ipotesi, la rivisitazione del concetto di tempo e di simultaneità, dilatazione dei tempi, contrazione delle lunghezze. Verifiche sperimentali.
* Trasformazioni di Lorentz, invariante relativistico, il cono di luce, effetto Doppler relativistico.
* Legge di composizione delle velocità, alcuni esempi, interpretazione dell'esperimento di Fizeau.
* I paradossi della relatività, l'asta nel fienile, il paradosso dei gemelli.
* Dinamica relativistica: approccio storico, equivalenza di massa ed energia, energia ed energia cinetica in relatività; quantità di moto relativistica, equazione del moto, caso di una forza costante, moto in campo magnetico uniforme. Conservazione della quantità di moto e dell'energia: urti elastici e urti anelastici. I limiti della legge di azione e reazione nella formulazione newtoniana. Trasformazione delle forze.
* Elettromagnetismo e relatività, equazioni di Maxwell e trasformazioni di Galileo, la conservazione della carica, le trasformazioni della densità di carica e di corrente, le trasformazioni del campo elettrico e magnetico, l'invarianza delle equazioni di Maxwell.
* Il formalismo covariante: quadrivettori e proprietà, il quadrivettore quantità di moto / energia, la covarianza della conservazione della quantità di moto. Particelle a massa nulla: il fotone, l'effetto Compton, rivisitazione dell'effetto Doppler. L'equazione del moto e le forze in relatività. Trasformazioni del campo elettrico e magnetico. Formulazione covariante dell'elettromagnetismo.
* Il principio di equivalenza e le sue conseguenze. Le applicazioni della relatività.
  + 1. *Modulo di Ottica Quantistica e Laser*

Il modulo di Ottica Quantistica e Laser, tenuto dal prof. Marco Barbieri dell’Università Roma Tre, presenta alcuni temi di fondamenti di fisica quantistica, spesso oggetto di articoli di divulgazione, allo scopo di chiarire come e perché i fenomeni quantistici, in particolare le misure, non possono essere pienamente compresi con concetti di fisica classica. Sono in particolare analizzati sistemi ottici, che consentono di sviluppare facilmente analogie tra la funzione d'onda e il campo elettrico. Il modulo è diviso in due parti, ciascuna composta da due argomenti, uno di tipo fondamentale e l'altro di tipo applicativo. Nella prima parte, che riguarda l'Ottica Quantistica, si affronta la fenomenologia dei singoli fotoni, l'interpretazione corpuscolare dei fenomeni di interferenza e il funzionamento del laser. Nella seconda parte, che riguarda i fondamenti della meccanica quantistica e l'informazione quantistica, si introduce il concetto di entanglement, illustrando come questo trovi applicazioni alla crittografia e al calcolo.

In particolare, il modulo è composto da 6 lezioni sui seguenti argomenti:

* Ottica quantistica: quantizzazione dell'energia, fotoni e grandezze associate, parallelo con l'ottica fisica, interferenza da singolo fotone: richiamo dell'esperienza di Young, descrizione a livello quantistico, descrizione formale, interpretazione frequentistica della figura di interferenza. La legge di Malus per singoli fotoni: richiamo classico, descrizione a livello quantistico, interpretazione frequentistica delle intensità rivelate, parallelo con l'esperienza di Stern Gerlach. Seconda quantizzazione: formalismo e associazione alle proprietà fisiche, stati quantistici del campo elettromagnetico.
* Funzionamento di un laser: Introduzione: coerenza dei campi luminosi e brillanza. Atomo a due livelli. Assorbimento ed emissione. Interpretazione dal punto di vista corpuscolare. Transizioni atomiche e regole di selezione, inversione di popolazione e guadagno. Cenni ai sistemi a più livelli. Elementi costruttivi del laser: mezzo attivo, cavità. Rassegna dei laser più comuni: He:Ne, Ti:Sapph, eccimeri, CO2, semiconduttore. Regime continuo e impulsato, mode locking.
* Fondamenti e Informazione quantistica: il problema della misura in meccanica quantistica. L'ipotesi EPR, criteri di realismo, località e completezza. Uso di questi concetti in fisica classica. Stati entangled come sovrapposizione di eventi a più particelle. Contrasto con le ipotesi EPR. Formalizzazione dell'ipotesi EPR, disuguaglianza Bell con stati entangled. Discussione della sua verifica sperimentale.
* Crittografia e calcolo quantistico: panoramica sui concetti fondamentali della crittografia e protocolli in uso corrente. Scambio di chiave segreta attraverso stati quantistici e attraverso entanglement. Discussione delle realizzazioni sperimentali. Computazione e macchina di Turing. Legge di Moore e limiti fisici alla miniaturizzazione. Connessione tra fisica e informazione. L'informazione quantistica e il suo trattamento: qubit, porte logiche. Criteri di Di Vincenzo per la realizzazione di un computer quantistico. Principali algoritmi quantistici: algoritmo di Shor, algoritmo di Grover, cenni alla correzione di errori.
  + 1. *Modulo di Fisica delle Particelle Elementari*

In questo modulo, tenuto dal prof. Giovanni Organtini dell’Università di Roma La Sapienza, viene introdotto il Modello Standard attraverso l'analisi dei dati sperimentali che sono stati accumulati nel corso degli anni. L'attuale modello della Fisica delle Particelle è costruito a partire da questi dati attraverso richiami di argomenti dei moduli di Meccanica Quantistica e Relatività. In diverse occasioni i temi sono affrontati in modo formale, anche se poco rigoroso, allo scopo di dare un'idea relativamente precisa di come si costruiscono le moderne teorie della Fisica delle Particelle, senza entrare troppo nei dettagli tecnici. Obiettivo del modulo è quello di fornire una panoramica delle attuali conoscenze in questo campo che non si limiti a una mera trasmissione di informazioni, ma permetta di farsi un'idea del processo che ha portato alla formulazione del Modello Standard.

In particolare, il modulo è composto da 7 lezioni sui seguenti argomenti:

* La scoperta dei raggi cosmici, la perdita di energia per ionizzazione; decadimenti beta; ipotesi del neutrino. Scoperta del positrone, dei pioni e dei muoni. Conservazione del numero leptonico e barionico. Scoperta della K e della ∧. Classificazione delle particelle.
* Produzione artificiale di particelle. Acceleratori.
* Sezione d'urto. Vita media. Massa invariante e risonanze. Particelle "strane". Modello a Quark. Teoria del Colore. Teoria delle interazioni fondamentali. Diagrammi di Feynman. L'equazione di Dirac.
* Elettrodinamica Quantistica. Cenni di Cromodinamica Quantistica. Misura del contenuto di quark negli adroni. Violazione della parità nelle interazioni deboli. Il bosone di Higgs.
* Rivelatori moderni per la fisica delle particelle.
  + 1. *Modulo di Fisica della Materia Condensata*

Il modulo è diviso in due parti. La prima, tenuta dal prof. Roberto Raimondi dell’Università Roma Tre, riguarda la comprensione delle proprietà di conduzione elettrica dei dispositivi, attraverso una introduzione alla meccanica statistica classica e quantistica, al ruolo da essa giocato nello sviluppo della meccanica quantistica, l'illustrazione della teoria della conduzione elettrica basata sul modello classico di Drude, la descrizione degli stati elettronici nei solidi, il fenomeno della superconduttività, l'effetto di magneto-resistenza gigante e l'effetto Hall quantistico. La seconda parte, tenuta dalla prof.ssa Luciana Di Gaspare dell’Università Roma Tre, è rivolta alla Fisica dei Semiconduttori e alle Nanoscienze; in essa si introducono le proprietà fondamentali degli stati elettronici dei semiconduttori e i principi del loro impiego nell'elettronica, si introducono le nanoscienze, discutendo come le proprietà fisiche dipendono dalla dimensionalità dei sistemi. Attraverso alcuni esempi rilevanti si mostrerà come i progressi scientifici e tecnologici siano in questi ambiti altamente interconnessi e versatili, producendo risultati innovativi in diversi campi quali ad esempio l'ICT, la biomedica, i materiali.

In particolare il modulo è composto da 9 lezioni sui seguenti argomenti:

* La teoria cinetica dei gas. La distribuzione di Maxwell delle velocità in un gas di particelle classiche.
* Il metodo combinatorio di Boltzmann. Il metodo combinatorio applicato da Planck al problema della radiazione di corpo nero. L'emergere del concetto di fotone nella termodinamica della radiazione di corpo nero. Il modello di Drude della conduzione elettrica nei metalli. L'effetto Hall classico e sua descrizione nel modello di Drude. La statistica quantistica di Fermi Dirac ed il gas di Fermi. Il modello di Sommerfeld della conduzione elettrica nei metalli. I livelli di energia elettronici nei solidi ed il concetto di bande di energia. Distinzione tra isolanti, conduttori e semiconduttori.
* Fenomenologia dell'effetto Hall quantistico. Densità degli stati. Livelli di energia di Landau per una particella in presenza di un campo magnetico. Stati di bordo e quantizzazione della resistenza di Hall. Il concetto della spintronica. Alcune idee sui sistemi paramagnetici e ferromagnetici. La fenomenologia dell'effetto di magneto resistenza gigante (GMR). Il modello di conduzione a due canali. Interpretazione dell'effetto GMR. Cenni sull'applicazione dell'effetto GMR alle memorie magnetiche. Significato della superconduttività. L'effetto Meissner di espulsione del flusso magnetico da un superconduttore. La teoria fenomenologia di London e la natura dello stato superconduttivo. Cenni alla teoria microscopica BCS della superconduttività.
* Bande di energia e classificazione dei solidi. Bande di valenza, bande di conduzione e gap diretta e indiretta nei semiconduttori. Occupazione delle bande a temperatura nulla e a temperatura finita in semiconduttori intrinseci. Conduzione elettrica in un semiconduttore. Concetto di lacuna. Massa efficace nei solidi: applicazione alla banda di valenza e alla banda di conduzione. Drogaggio di tipo n e drogaggio di tipo p. Modello idrogenoide per le energie degli stati elettronici di impurezze droganti. Densità dei portatori intrinseci e estrinseci in funzione della temperatura. L'effetto Hall classico Giunzione pn all'equilibrio: diffusione, regione di deplezione. Polarizzazione diretta e inversa della giunzione p n. Il diodo. I diodi LED, la scelta del materiale semiconduttore. Barriere Schottky . Principi di funzionamento del transistor.
* Proprietà fisiche e dimensionalità : introduzione allo studio e alla manipolazione dei materiali, dei dispositivi e dei fenomeni fisico/chimici su scala nanometrica
* Sistemi 2D: eterostrutture fra semiconduttori; buche per elettroni e buche per lacune Introduzione alle tecniche di imaging alla nanoscala
* Introduzione alle tecniche di fabbricazione per le nanotecnologie
* Alcuni esempi di applicazione effetti quantistici in nanostrutture di semiconduttori e delle nanoscienze. Cenni sul grafene
  + 1. *Modulo di Astrofisica e Cosmologia*

La parte di Astrofisica, tenuta dal prof. Stefano Bianchi dell’Università Roma Tre, introduce i concetti fondamentali e le basi classiche dell'astrofisica stellare, concentrandosi sugli aspetti più moderni dell'attuale ricerca in astrofisica, dagli esopianeti agli oggetti più esotici della nostra Galassia (nane bianche, stelle di neutroni, buchi neri), per arrivare fino alle sorgenti più energetiche ai confini dell'Universo (Nuclei Galattici Attivi, Gamma Ray Burst).

La parte di Cosmologia, tenuta dal prof. Enzo Franco Branchini dell’Università Roma Tre, descrive invece la Cosmologia Moderna e l'attuale comprensione dell'Universo. Partendo da alcune osservazioni fondamentali, viene illustrato un modello fisico dell'Universo, delle strutture che lo popolano e della loro evoluzione passata e futura, descrivendone criticamente i limiti di validità, i potenziali problemi e le soluzioni proposte che hanno portato all'elaborazione del "Modello Cosmologico Standard".

In particolare, il modulo è composto da 8 lezioni sui seguenti argomenti:

* Fondamenti di Astronomia: Coordinate celesti, magnitudini, flussi e luminosità; spettri e righe spettrali; misure di temperatura, massa, raggio e velocità, la scala delle distanze
* Le Stelle: classificazione: Diagramma di Hertzsprung Russell; le Equazioni della Struttura Stellare e i processi nucleari, la formazione ed Evoluzione stellare; gli Esopianeti
* La seconda vita delle stelle: nane bianche, stelle di neutroni, buchi neri, binarie X
* Dalla Via Lattea ai confini dell'Universo: galassie e mezzo intergalattico, nuclei galattici attivi, ammassi di galassie, gamma ray burst.
* Cosmologia: la Cosmologia come Scienza Fisica, recessione delle galassie e legge di Hubble; il fondo cosmico di microonde 1, l'abbondanza di elementi leggeri, lo stato di ionizzazione del mezzo intergalattico.
* Verso un modello cosmologico: teorie della gravità', principio cosmologico, metrica FRW e modelli di Friedmann, evoluzione dell'Universo ed il Big Bang. Distanze e orizzonti cosmologici, redshift cosmologico e legge di Hubble. Storia termica, radiazione di fondo. Nucleosintesi cosmologica, atomi e fotoni.
* Formazione ed evoluzione delle strutture cosmiche: il fondo cosmico di microonde 2. Galassie, ammassi e struttura a grande scala. Instabilità' gravitazionale.
* Problemi e soluzioni nel modello cosmologico "standard": paradosso dell'orizzonte e della piattezza; inflazione cosmologica; densità' di materia e anomalie dinamiche. La Materia Oscura; l'accelerazione dell'Universo; l'energia oscura. Stato del modello e sfide future.

1. **Erogazioni**

Il corso è stato erogato per la prima volta a maggio 2016, e a marzo 2018, arrivato alla sua decima edizione, aveva raggiungo le 1310 iscrizioni di docenti in servizio. Per queste prime edizioni del corso l’iscrizione era possibile solo all’intero corso e solo ai docenti già di ruolo. Da luglio 2018 si è aperta l’iscrizione anche ai docenti a tempo determinato ed è inoltre possibile l’iscrizione anche a un singolo modulo del corso. Nel novembre 2020 il corso è arrivato alla sua diciottesima edizione, coinvolgendo 1513 insegnanti in tutta Italia; attualmente l’erogazione del corso inizia 3 volte l’anno in date prestabilite: 15 marzo, 15 luglio, 15 novembre.

Dei 1513 insegnanti iscritti al corso, 171 seppur iscritti non hanno mai poi effettuato realmente l’accesso in piattaforma e quindi non hanno svolto affatto il corso.

744 hanno superato la verifica alla fine del modulo di Fisica Quantistica, 548 hanno superato la verifica alla fine del modulo di Relatività Ristretta, 511 hanno superato la verifica alla fine del modulo di Fisica delle Particelle, 415 hanno superato la verifica alla fine del modulo di Fisica della Materia Condensata, 410 hanno superato la verifica alla fine del modulo di Astrofisica e Cosmologia, 413 hanno superato la verifica alla fine del modulo di Ottica quantistica. L’elevato numero degli iscritti dimostra sia l’interesse dei docenti ad approfondire la Fisica Moderna, sia la valenza del corso stesso a cui gli iscritti hanno fatto buona pubblicità con i colleghi. La percentuale di quanti hanno concluso i moduli principali di Fisica Quantistica e di Relatività, se confrontata con quanto di solito avviene nei corsi on-line, è indice dell’interesse che i moduli hanno suscitato e quindi della qualità delle lezioni e del servizio complessivo proposto. Gli altri moduli, in quanto più specifici, hanno suscitato un interesse minore ma sempre significativo, con un leggero maggiore interesse per la Fisica delle Particelle, rispetto agli altri.

È qui da precisare che il corso nella sua forma completa è considerato dagli iscritti molto impegnativo e quindi difficilmente integrabile con le attività lavorative quotidiane ed è questo il motivo per cui molti iscritti hanno scelto di completare i moduli principali e poi solo alcuni dei moduli aggiuntivi; ed è stata anche questa osservazione che ha poi portato alla apertura delle iscrizioni anche ai singoli moduli oltre che al corso interno.

La certificazione in CFU non incontra invece un interesse particolare da parte degli iscritti, presumibilmente per la difficoltà poi di “spenderla” all’interno del sistema di istruzione ai fini della carriera o della graduatoria di Istituto. Infatti, solo 102 docenti si sono iscritti all’esame in presenza per l’ottenimento dei 15 CFU. Di questi iscritti, 25 non si sono poi presentati all’esame, 26 non hanno superato la prova in presenza e 51 hanno superato la prova ottenendo quindi la certificazione dei CFU corrispondenti. Tra questi 51, 14 hanno ottenuto una valutazione di 30 (11 corsisti) o 30 e lode (3 corsisti).

1. **Riassunto e Conclusioni**

In questo articolo abbiamo descritto il corso online in Fisica Moderna LS-EDU, nato per rafforzare e aggiornare le conoscenze dei docenti su argomenti che vanno dalla Fisica Quantistica alle Relatività Ristretta, dalla Fisica delle Particelle Elementari alla Fisica della Materia Condensata, dall’Astrofisica e Cosmologia all’Ottica Quantistica. Il corso è stato erogato per la prima volta a maggio 2016, ed è arrivato oggi alla sua ventesima edizione, coinvolgendo oltre 1500 docenti in servizio di tutta Italia.

Esso fornisce un importante esempio di corso volto al rafforzamento delle conoscenze e delle competenze dei docenti in servizio. Il corso rappresenta un primo passo fondamentale nello sviluppo professionale dei docenti, per renderli completamente autonomi sugli aspetti disciplinari e contenutistici degli argomenti trattati, e in grado di poter poi riversare tali conoscenze nelle loro classi attraverso un’opportuna progettazione didattica.

Il successo dell’iniziativa così come i suggerimenti e le richieste avanzate dagli iscritti suggeriscono per il futuro di ampliare l’offerta dei corsi on-line LS-EDU con un modulo di Relatività Generale per includere anche questo importante ramo della Fisica Moderna e uno di analisi dei dati, su cui ancora oggi i docenti incontrano molte difficoltà e si comportano in laboratorio in modo molto diverso l’uno dall’altro. Forte è anche la richiesta di elaborare moduli su metodologie didattiche applicate quali ad esempio un percorso di fisica quantistica e uno di relatività.

Infine, una analoga iniziativa è stata realizzata anche per i docenti di Scienze, per i quali sono stati elaborati tre corsi on-line di aggiornamento nelle tre discipline che compongono questa materia: “Le Scienze della Terra per la Società”, “La Biologia oggi” e “Polimeri e nanomateriali di oggi e per il futuro”.

1. **Ringraziamenti**

Gli autori ringraziano il Comitato Tecnico Scientifico del progetto LS-OSA per il supporto dato alla realizzazione del corso.Ringraziano anche Marco Barbieri, Stefano Bianchi, Enzo Branchini, Luciana Di Gaspare, Vittorio Lubicz, Angela Mecca, Giovanni Organtini, Roberto Raimondi, Lorenzo Riggio, Danilo Riglioni, Marco Valli, che, pur non comparendo tra i firmatari di questo articolo, hanno contribuito a rendere il Corso online in Fisica Moderna un esempio di alta formazione online grazie alla loro professionalità e competenza. Un ringraziamento speciale va poi a Carlo Meneghini per il suo aiuto continuo nella definizione e realizzazione del progetto, alla regista Simonetta Pieroni per le riprese e il montaggio di tutti i video delle lezioni del corso. Infine, gli autori vogliono ringraziare anche Francesco Aloisi, Sergio Giannelli e Andrea Ranaldi per il supporto informatico al progetto.

**Bibliografia**

[1] Decreto Ministeriale 211 del 7 ottobre 2010 “Indicazioni Nazionali”, allegato F: <https://www.gazzettaufficiale.it/gunewsletter/dettaglio.jsp?service=1&datagu=2010-12-14&task=dettaglio&numgu=291&redaz=010G0232&tmstp=1292405356450>

[2] Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca, Linee Guida Piano Nazionale Lauree Scientifiche 2017 – 2018, [https://www.pianolaureescientifiche.it/pls2018/wpcontent/ uploads/2019/04/PLS\_linee-guida\_fin.pdf](https://www.pianolaureescientifiche.it/pls2018/wpcontent/)

[3] Immè J. per il PLS di Fisica, “Il PLS-Fisica: Dalle esperienze consolidate verso nuove prospettive”, *Atto del 106*° *Congresso nazionale Società Italiana di Fisica* (2020) <https://www.sif.it/static/SIF/resources/public/files/congr20/atti_congresso_106.pdf>

[4] Michelini M. *et al., “*An overview of physics teacher professional development activities organized within the Italian PLS-Physics plan over the past five years”, *GIREP* (Groupe International de Recherche sur l’Enseignement de la Physique) *Proceedings Webinar 2020 “Physics Teacher Education-What Matters?”* (2020)

<https://www.iris.unict.it/handle/20.500.11769/499773?mode=full.468#.YIfh9aHOOUk>

[5] Corradini O. *et al.*, “La formazione degli insegnanti del PLS-Fisica negli ultimi cinque anni”, *Atto del 106*° *Congresso nazionale Società Italiana di Fisica* (2020) <https://www.sif.it/static/SIF/resources/public/files/congr20/atti_congresso_106.pdf>

[6] Michelini, M., Santi, L., & Stefanel, A. “E-learning in teacher professional development in innovation and formative guidance on modern physics: the case of IDIFO Master’s Programs”, *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, **9** (2013) 2

[7] Battaglia O. *et al.*, “Master IDIFO (innovazione didattica in fisica e orientamento): a community of italian physics education researchers and teachers as a model for a research based in-service teacher development in modern physics”, *Physics Community and cooperation,* **2** (2011)

[8] Berrilli F., Catena L. M., Rickards O., Rocca F., Vittorio N., “*Professione formatore in didattica delle scienze - Testimonianze del master tenuto presso l'Università di Roma Tor Vergata”* (Mondadori Education, Milano), 2017

[9] Corsi online del progetto LS-OSA <https://ls-edu.uniroma3.it>

[10] Progetto Licei Scientifici-Opzione Scienze Applicate <https://www.miur.gov.it/lsosa-lab>