

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Fisica Solare e Risposte Terrestre

SOLAR PHYSICS AND EARTH'S RESPONSE

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	FISICA (LM-17)
Codice	8068906	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Inglese

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Francesco Berrilli

CODOCENTE

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI Il corso offre una preparazione avanzata in Fisica Solare e dell'eliosfera, ponendo la priorità sui meccanismi fisici che regolano le interazioni Sole-Terra e sulla complessa risposta dinamica dell'ambiente terrestre. Il percorso approfondisce i temi di frontiera dello Space Climate e dello Space Weather, analizzando in dettaglio come l'attività solare moduli la magnetosfera, la ionosfera e l'atmosfera del nostro pianeta, con dirette implicazioni sulla sicurezza tecnologica e biologica. Pur richiedendo basi di fisica classica, quantistica e dei plasmi, la struttura modulare garantisce una trattazione autoconsistente di ogni fenomeno. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE Gli studenti devono assimilare la fisica di base e la fenomenologia indispensabili per padroneggiare la modellistica applicata al Sole e, soprattutto, ai processi di interazione che definiscono lo stato fisico dello spazio circumterrestre. La comprensione si estende alle dinamiche dello Space Climate e alla gestione dei dati spaziali, con l'obiettivo di interpretare correttamente la reazione del sistema Terra alle perturbazioni provenienti dall'eliosfera, siano esse rilevate da strumentazione al suolo o in orbita. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE Il percorso formativo mira a fornire competenze e strumenti avanzati per la comunicazione e la gestione dell'informazione scientifica. Gli studenti saranno in grado di navigare con competenza nella bibliografia specialistica, applicando i modelli teorici per valutare l'impatto ambientale e tecnologico dei fenomeni solari sul nostro pianeta, traducendo la teoria in capacità operativa nel campo della ricerca spaziale.
-----------------	--

	AUTONOMIA DI GIUDIZIO Viene richiesta la capacità di analizzare criticamente i dati grezzi provenienti da esperimenti spaziali o terrestri, operando una selezione rigorosa delle informazioni. Gli studenti dovranno sviluppare una familiarità con le riviste scientifiche e gli archivi elettronici web, imparando a interpretare i parametri dello Space Weather per giudicare autonomamente l'intensità della risposta magnetica e ionosferica terrestre rispetto ai diversi scenari di attività solare. ABILITÀ COMUNICATIVE Gli studenti devono maturare l'abilità di esporre con rigore metodologico sia i processi astrofisici stellari che le loro ripercussioni dirette sulla vita e sulle infrastrutture terrestri. La capacità di sintesi e di divulgazione deve permettere di interagire efficacemente tanto con la comunità scientifica quanto con un pubblico non specialistico, rendendo accessibile la comprensione del rischio geomagnetico. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO Attraverso lo studio dei processi fisici applicati alla fisica solare e allo Space Weather, gli studenti acquisiranno un metodo di indagine flessibile. Questa preparazione consentirà loro di comprendere come la Terra reagisce ai flussi di energia esterni e di traslare tali conoscenze verso nuovi ambiti della fisica o dell'ingegneria, affrontando problematiche inedite con piena autonomia intellettuale.
English	LEARNING OBJECTIVES <i>The course offers advanced training in Solar and Heliospheric Physics, prioritizing the physical mechanisms regulating Sun-Earth interactions and the complex dynamic response of the terrestrial environment. The curriculum delves into frontier topics of Space Climate and Space Weather, analyzing in detail how solar activity modulates our planet's magnetosphere, ionosphere, and atmosphere, with direct implications for technological and biological safety. While requiring a foundation in classical, quantum, and plasma physics, the modular structure ensures a self-consistent treatment of every phenomenon.</i> KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING <i>Students must assimilate the fundamental physics and phenomenology essential for mastering modeling applied to the Sun and, above all, to the interaction processes that define the physical state of circumterrestrial space. This understanding extends to Space Climate dynamics and spatial data management, with the goal of correctly interpreting the Earth system's reaction to heliospheric perturbations, whether detected by ground-based or orbiting instrumentation.</i> APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING <i>The educational path aims to provide advanced skills and tools for the communication and management of scientific information. Students will be able to competently navigate specialized bibliography, applying theoretical models to evaluate the environmental and</i>

	<i>technological impact of solar phenomena on our planet, translating theory into operational capability within the field of space research.</i> MAKING JUDGEMENTS <i>The ability to critically analyze raw data from space or terrestrial experiments is required, involving a rigorous selection of information. Students must develop familiarity with scientific journals and web-based electronic archives, learning to interpret Space Weather parameters to independently judge the intensity of the Earth's magnetic and ionospheric response relative to various solar activity scenarios.</i> COMMUNICATION SKILLS <i>Students must develop the ability to present, with methodological rigor, both stellar astrophysical processes and their direct repercussions on terrestrial life and infrastructure. Their capacity for synthesis and outreach must enable effective interaction with both the scientific community and a non-specialist audience, making the understanding of geomagnetic risk accessible.</i> LEARNING SKILLS <i>Through the study of physical processes applied to solar physics and Space Weather, students will acquire a flexible investigative method. This preparation will enable them to understand how the Earth reacts to external energy flows and to transfer this knowledge to new fields of physics or engineering, tackling unprecedented problems with full intellectual autonomy.</i>
--	--

PREREQUISITI

Italiano	Conoscenze di base di fisica generale e di fisica dei plasmi.
<i>English</i>	<i>Basic knowledge of general physics and plasma physics.</i>

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Panoramica del Corso: Il corso analizza nel dettaglio la fisica del Sole e il suo impatto sul Sistema Terra, con particolare riferimento allo spazio circumterrestre e all'alta atmosfera. L'approccio privilegia il pensiero critico e l'applicazione pratica dei concetti fisici rispetto alla semplice memorizzazione. La fisica solare viene presentata come un campo interdisciplinare che funge da laboratorio naturale per la fisica nucleare, la fisica quantistica, la fisica dei plasmi, la magnetoidrodinamica (MHD) e lo studio dei sistemi complessi. Programma del Corso Parte I: Interno Solare e Radiazione Modulo 1: Fondamenti di Struttura Solare – Equazioni fondamentali, equilibrio idrostatico, sorgenti di pressione, il paradosso del Sole giovane debole (<i>Faint Sun Paradox</i>) e diffusione dei fotoni. Modulo 2: Sorgenti di Energia Solare e il Problema dei Neutrini – Fusione nucleare, Modello Solare Standard, esperimenti sui neutrini e introduzione all'eliosismologia. Modulo 3: Spettro Solare e Trasporto Radiativo – Fondamenti dell'equazione del trasporto radiativo, approssimazione LTE (equilibrio termodinamico locale) e formazione delle righe spettrali. Parte II: Magnetismo Solare e Atmosfera Dinamica Modulo 4: Fisica e Argomenti di Scala – Convezione turbolenta (<i>mixing length theory</i>), granulazione e onde acustiche solari. Modulo 5: Il Sole Magnetico e i Campi Magnetici – Fondamenti di MHD (ideale e resistiva), macchie solari e concetti base della riconnessione magnetica. Modulo 6: Il Ciclo (o i Cicli) Solare e la Dinamo Globale – Rotazione differenziale, modelli di trasporto di flusso, il diagramma a farfalla e variabilità a lungo termine. Modulo 7: L'Atmosfera Solare – Dalla fotosfera alla corona, problematiche del riscaldamento coronale, <i>loop</i> coronali e sorgenti del vento solare. Parte III: Eliosfera e Space Weather Modulo 8: Attività Solare e Space Weather – Fisica degli eventi eruttivi, brillantamenti (<i>flares</i>), espulsioni di massa coronale (CME) e tecniche di previsione. Modulo 9: Il Mezzo Interplanetario – Struttura del vento solare, spirale di Parker, campo magnetico interplanetario, particelle solari energetiche (SEP) e raggi cosmici. Parte IV: Risposta della Terra e Connessione Climatica Modulo 10: Interazione con il Vento Solare – Struttura della magnetosfera (onda d'urto, magnetopausa), tempeste geomagnetiche e dinamica della ionosfera.
----------	--



	Modulo 11: Impatti Atmosferici e Clima – Variabilità solare nei raggi UV/X, fisica dello strato di ozono e forzante solare sul clima terrestre. Modulo 12: Minimi Solari Prolungati e Risposta della Terra – Analisi dei Grandi Minimi solari e delle loro conseguenze storiche e fisiche sul sistema terrestre.
English	<i>Course Overview: This course details the physics of the Sun and its impact on the Earth System, specifically circumterrestrial space and the high atmosphere. It emphasizes critical thinking and the practical application of physical concepts over simple memorization. Solar physics is presented as an interdisciplinary field, serving as a natural laboratory for nuclear physics, quantum physics, plasma physics, MHD, and complex systems.</i> <i>Syllabus</i> Part I: Solar Interior and Radiation <i>Module 1: Fundamentals of Solar Structure – Basic equations, hydrostatic equilibrium, pressure sources, the Faint Sun Paradox, and photon diffusion.</i> <i>Module 2: Solar Energy Source and Neutrino Problem – Nuclear fusion, the Standard Solar Model, neutrino experiments, and an introduction to helioseismology.</i> <i>Module 3: Solar Spectrum and Radiative Transfer – Radiative transfer equation fundamentals, LTE approximation, and line formation.</i> Part II: Solar Magnetism and Dynamic Atmosphere <i>Module 4: Physics and Scaling Arguments – Turbulent convection (mixing length theory), granulation, and solar acoustic waves.</i> <i>Module 5: The Magnetic Sun and Magnetic Fields – Fundamentals of MHD (ideal and resistive), sunspots, and basic magnetic reconnection.</i> <i>Module 6: The Solar Cycle(s) and Global Dynamo – Differential rotation, flux-transport models, the butterfly diagram, and long-term variability.</i> <i>Module 7: The Solar Atmosphere – Photosphere to Corona, heating problems, coronal loops, and solar wind sources.</i> Part III: Heliosphere and Space Weather <i>Module 8: Solar Activity and Space Weather – Physics of eruptive events, solar flares, Coronal Mass Ejections (CMEs), and forecasting.</i> <i>Module 9: The Interplanetary Medium – Solar wind structure, Parker spiral, interplanetary magnetic field, SEPs, and cosmic rays.</i> Part IV: Earth's Response and Climate Connection <i>Module 10: Solar Wind Interaction – Magnetosphere structure (bow shock, magnetopause), magnetic storms, and ionosphere dynamics.</i>

	<i>Module 11: Atmospheric Impacts and Climate – Solar UV/X-ray variability, ozone layer physics, and solar forcing of Earth's climate.</i> <i>Module 12: Solar Grand Minima and Earth's Response</i>
--	--

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	Dispense del Corso Fisica Solare (UNITEXT / Collana di Fisica e Astronomia) – E. Landi Degl'Innocenti The Sun: an introduction – M. Stix Fundamentals of Solar Astronomy – A. Bhatnagar and W. Livingston The Sun and Space Weather – A. Hanslmeier
English	<i>Bate, Mueller & White, Fundamentals of Astrodynamics, Dover</i> <i>Prohls, Physics of the Earth's Space Environment: An Introduction, Springer</i> <i>Lecture Notes</i> <i>Updated literature papers on the topics covered by the course are mentioned during the lectures.</i>

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Lezioni frontali in aula, integrate da presentazioni Power Point, uso della lavagna e altro materiale didattico, anche invitando esperti di campi specifici per brevi seminari/lezioni.
English	<i>Classroom lessons, integrated with Power Point presentations, chalkboard and other didactic material, also inviting experts from specific fields for short seminars / lectures.</i>

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Lezioni in aula
English	<i>Class lectures</i>

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

☐ Prova scritta ☒ Prova orale ☐ Prova di laboratorio ☐ Prova pratica
☐ Valutazione in itinere ☒ Valutazione di progetto ☐ Valutazione di tirocinio

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

Francesco Berrilli, Dario Del Moro, Luca Giovannelli, Valentina Penza

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	L'esame consiste in un colloquio orale volto a verificare il livello di conoscenza degli argomenti trattati. La discussione inizia con una presentazione di approfondimento e una discussione di una relazione preparata dallo studente su un argomento di Fisica Solare o Relazione Sole-Terra concordato. In seguito vengono proposte altre due domande su ulteriori argomenti svolti a lezione. Per superare l'esame occorre riportare un voto non inferiore a 18/30; più in particolare, la prova di esame sarà valutata secondo i seguenti criteri: Non idoneo: importanti carenze e/o inaccuratezza nella conoscenza e comprensione degli argomenti; limitate capacità di analisi e sintesi, frequenti generalizzazioni. 18-20: conoscenza e comprensione degli argomenti appena sufficiente con possibili imperfezioni; capacità di analisi, sintesi e autonomia di giudizio sufficienti. 21-23: Conoscenza e comprensione degli argomenti routinaria; Capacità di analisi e sintesi corrette con argomentazione logica coerente. 24-26: Discreta conoscenza e comprensione degli argomenti; buone capacità di analisi e sintesi con argomentazioni espresse in modo rigoroso. 27-29: Conoscenza e comprensione degli argomenti completa; notevoli capacità di analisi, sintesi. Buona autonomia di giudizio. 30-30L: Ottimo livello di conoscenza e comprensione degli argomenti. Notevoli capacità di analisi e di sintesi e di autonomia di giudizio. Argomentazioni espresse in modo originale.
English	<i>The exam consists of an oral interview aimed at assessing the student's level of knowledge of the topics covered.</i> <i>The discussion begins with a presentation and discussion of a report prepared by the student on a space mission agreed upon with the instructor. Two additional questions on further topics covered during lectures are then posed.</i> <i>To pass the exam, a grade of no less than 18/30 is required; more specifically, the exam will be assessed according to the following criteria:</i> <i>18-20: knowledge and understanding of topics only sufficient with possible imperfections; analytical skills, synthesis and judgment autonomy just sufficient.</i> <i>21-23: knowledge and understanding of topics at a basic level; Correct analysis and synthesis skills with consistent logical reasoning.</i> <i>24-26: Fair knowledge and understanding of the topics; good analytical and synthesis skills with rigorous arguments.</i> <i>27-29: Complete knowledge and understanding of the topics; remarkable ability of analysis, synthesis. Good autonomy of judgment.</i> <i>30-30L: Excellent level of knowledge and understanding of topics. Remarkable ability of</i>

	<i>analysis and synthesis and autonomy of judgment. Arguments expressed in an original way</i>
--	--