Testi del Syllabus

Resp. Did. **CRUPI MARILENA** **Matricola: 009076**

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**47 - ALGEBRA SUPERIORE**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**12**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**SECONDO SEMESTRE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	Italiano
Contenuti	-- Modulo: 47/1 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. A ---- -- Modulo A: Moduli sinistri, destri e bilateri. Prodotti diretti e somme dirette di moduli. Sequenze esatte. Lemma del serpente e sue applicazioni. Lemma dei cinque. Il modulo degli omomorfismi. Gli operatori Hom(-,-). Prodotto tensoriale. Moduli finitamente generati. Moduli liberi. Moduli proiettivi, iniettivi. Inviluppi iniettivi. Moduli piatti. Moduli fedelmente piatti. Complessi di moduli. Risoluzioni libere, proiettive, iniettive, piatte di moduli e loro caratterizzazioni omologiche. -- Modulo: 47/2 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. B -- Modulo B: TEORIA DEGLI ANELLI: Richiami su: Anelli, omomorfismi tra anelli, teoremi di isomorfismo. Operazioni tra ideali: somma, prodotto, intersezione, radicale, divisione, caso degli ideali monomiali. Ideali primi, ideali massimali, relazioni tra essi, anelli locali, anelli semilocali, nilradicale e radicale di Jacobson: definizione e caratterizzazione. Estensione e contrazione di ideali rispetto ad omomorfismi. Anelli di frazioni e moduli

	di frazioni. Estensione e contrazione di ideali rispetto alla formazione di anelli di frazioni; ideali primi in un anello di frazioni, localizzazione e quoziente e loro commutabilità, proprietà locali. DECOMPOSIZIONE PRIMARIA Ideali primari, decomposizioni primarie e decomposizioni primarie minimali di un ideale. Teoremi di unicità per le decomposizioni primarie minimali di un ideale: unicità e caratterizzazione dei primi associati ad una decomposizione primaria minimale, primi associati ad un ideale, primi minimali e primi immersi, ideali primari e formazione di frazioni, unicità delle componenti primarie isolate. MODULI E ANELLI NOETHERIANI E ARTINIANI Condizioni sulle catene (ascendenti, discendenti, finite) in un insieme ordinato, moduli noetheriani e moduli artiniani, anelli noetheriani e anelli artiniani; esempi e controesempi; noetherianità, artinianità e successioni esatte; serie di composizione; lunghezza e additività della funzione lunghezza; proprietà degli ideali primi e del nilradicale in un anello artiniano. Teorema della Base di Hilbert. Ideali irriducibili, decomposizioni primarie e primarie minimali di ideali e moduli negli anelli noetheriani. Decomposizioni primarie di ideali monomiali in anelli di polinomi in un numero finito di indeterminate. TEORIA DELLA DIMENSIONE Altezza di un ideale, caso dei domini ad ideali principali, teorema dell'ideale principale di Krull, caso degli anelli locali, anelli regolari.
Testi di riferimento	-- Modulo: 47/1 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. A ---- --- 1. M. F. Atiyah, I. G. Macdonald, Introduzione all'Algebra commutativa, Feltrinelli, Milano, 1981. 2. A. Bandini, P. Gianni, E. Sbarra, Esercizi di algebra commutativa, Pisa University Press. 3. P.J. Hilton, U. Stammbach. A Course in Homological Algebra, Graduate Texts in Mathematics 4, Springer-Verlag, 1997. 4. J.J. Rotman. An Introduction to Homological Algebra, Springer, 2008. 5. C.A. Weibel. An introduction to homological

	algebra, Cambridge studies in advanced mathematics, 38, 1997. -- Modulo: 47/2 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. B -- 1. M.F. Atiyah - I.G. Macdonald, Introduction to Commutative Algebra. Addison-Wesley Publishing Company, 1969. 2. A. Chambert-Loir. (Mostly) Commutative Algebra, Universitext, 2021. 3. R.Y. Sharp, Steps in commutative algebra, London Mathematical Society Student Texts, Cambridge University Press, Cambridge, 1990. 4. A. Bandini - P. Gianni - E. Sbarra, Esercizi di Algebra Commutativa, Pisa University Press, 2023
Obiettivi formativi	Conoscenza dei metodi dell'algebra commutativa e omologica.
Prerequisiti	Conoscenze acquisite nei corsi istituzionali di Algebra di un corso di laurea della classe L-35.
Metodi didattici	Lezioni frontali in aula ed esercitazioni in classe.
Altre informazioni	
Modalità di verifica dell'apprendimento	L'esame finale consisterà in una prova orale, in cui saranno valutati il livello di conoscenza e comprensione degli argomenti trattati, la capacità di esposizione e la proprietà di linguaggio.
Programma esteso	

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	-- Modulo: 47/1 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. A ---- -- Modulo A: Left, right modules. Direct products and direct sums of modules. Exact sequences. Snake lemma and its applications. The homomorphism module. Hom operators (-, -). Tensorial product. Finitely generated modules. Free modules. Projective, injective modules. Injective envelopes. Flat and faithfully flat modules Complex of chains and cochains. Free, projective, injective, flat resolutions of modules, and their homological characterizations. -- Modulo: 47/2 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. B ---- -- Module B: RING THEORY: Recalls on: Rings, homomorphisms between rings, isomorphism theorems. Operations between ideals: sum, product, intersection, radical, division, case of monomial ideals. Prime ideals, maximal ideals, relations between them, local rings, semilocal rings, nilradical and Jacobson radical: definition and characterization. Extension and contraction of ideals with respect to homomorphisms. Rings of fractions and modules of fractions. Extension and contraction of ideals with respect to fraction ring formation; prime ideals in a fraction ring, locus and quotient and their commutativity, local properties. PRIMARY DECOMPOSITION Prime ideals, prime decompositions and minimal prime decompositions of an ideal. Uniqueness theorems for minimal primary decompositions of an ideal: uniqueness and characterization of primes associated with a minimal primary decomposition, primes associated with an ideal, minimal primes and immersed primes, primary ideals and fraction formation, uniqueness of isolated primary components. NOETHERIAN AND ARTINIAN MODULES AND RINGS. Conditions on chains (ascending, descending, finite) in an ordered

set, noetherian modules and artinian modules, noetherian rings and artinian rings; examples and counterexamples; noetherianity, artinianity and exact successions; composition series; length and additivity of the length function; properties of prime ideals and the nilradical in an artinian ring. Hilbert's Basis Theorem. Irreducible ideals, primary and minimal primary decompositions of ideals and modules in Noetherian rings. Primary decompositions of monomial ideals in rings of polynomials in a finite number of indeterminates. DIMENSION THEORY Height of an ideal, case of domains to principal ideals, Krull principal ideal theorem, case of local rings, regular rings.

--- Modulo: 47/1 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. A -- 1. M. F. Atiyah, I. G. Macdonald, Introduzione all’Algebra commutativa, Feltrinelli, Milano, 1981 2. A. Bandini, P. Gianni, E. Sbarra, Esercizi di algebra commutativa, Pisa University Press. 3. P.J. Hilton, U. Stammbach. A Course in Homological Algebra, Graduate Texts in Mathematics 4, Springer-Verlag, 1997. 4. J.J. Rotman. An Introduction to Homological Algebra, Springer, 2008. 5. C.A. Weibel. An introduction to homological algebra, Cambridge studies in advanced mathematics, 38, 1997. --- Modulo: 47/2 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. B --- 1. M.F. Atiyah - I.G. Macdonald, Introduction to Commutative Algebra. Addison-Wesley Publishing Company, 1969. 2. A. Chambert-Loir. (Mostly) Commutative Algebra, Universitext, 2021. 3. R.Y. Sharp, Steps in commutative algebra, London Mathematical Society Student Texts, Cambridge University Press, Cambridge, 1990. 4. A. Bandini - P. Gianni - E. Sbarra, Esercizi di Algebra Commutativa, Pisa University Press, 2023

	Knowledge of methods of commutative and homological algebras.
	The contents of the courses of Algebra of a degree of L-35 class.
	Classroom lectures and classroom exercises.
	The final examination will consist of an oral test, in which the level of knowledge and understanding of the topics covered, the ability to expound and the property of language will be evaluated.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**CRUPI MARILENA**	**Matricola: 009076**
Docente	**CRUPI MARILENA, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**47/1 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. A**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**SECONDO SEMESTRE**

Testi in italiano

Contenuti	Modulo A: Moduli sinistri, destri e bilateri. Prodotti diretti e somme dirette di moduli. Sequenze esatte. Lemma del serpente e sue applicazioni. Lemma dei cinque. Il modulo degli omomorfismi. Gli operatori Hom(-,-). Prodotto tensoriale. Moduli finitamente generati. Moduli liberi. Moduli proiettivi, iniettivi. Inviluppi iniettivi. Moduli piatti. Moduli fedelmente piatti. Complessi di moduli. Risoluzioni libere, proiettive, iniettive, piatte di moduli e loro caratterizzazioni omologiche.
Testi di riferimento	1. M. F. Atiyah, I. G. Macdonald, Introduzione all'Algebra commutativa, Feltrinelli, Milano, 1981. 2. A. Bandini, P. Gianni, E. Sbarra, Esercizi di algebra commutativa, Pisa University Press. 3. P.J. Hilton, U. Stammbach. A Course in Homological Algebra, Graduate Texts in Mathematics 4, Springer-Verlag, 1997. 4. J.J. Rotman. An Introduction to Homological Algebra, Springer, 2008. 5. C.A. Weibel. An introduction to homological algebra, Cambridge studies in advanced mathematics, 38, 1997.
Obiettivi formativi	Conoscenza dei concetti principali dell'algebra commutativa e dei metodi dell'algebra omologica.
Prerequisiti	Conoscenze acquisite nei corsi istituzionali di Algebra di un corso di laurea della classe L-35.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Modulo A: Left, right modules. Direct products and direct sums of modules. Exact sequences. Snake lemma and its applications. The homomorphism module. Hom operators (-, -). Tensorial product. Finitely generated modules. Free modules. Projective, injective modules. Injective envelopes. Flat and faithfully flat modules Complex of chains and cochains. Free, projective, injective, flat resolutions of modules, and their homological characterizations.
	1. M. F. Atiyah, I. G. Macdonald, Introduzione all'Algebra commutativa, Feltrinelli, Milano, 1981 2. A. Bandini, P. Gianni, E. Sbarra, Esercizi di algebra commutativa, Pisa University Press. 3. P.J. Hilton, U. Stammbach. A Course in Homological Algebra, Graduate Texts in Mathematics 4, Springer-Verlag, 1997. 4. J.J. Rotman. An Introduction to Homological Algebra, Springer, 2008. 5. C.A. Weibel. An introduction to homological algebra, Cambridge studies in advanced mathematics, 38, 1997.
	Knowledge of the main concepts of commutative algebra and of homological algebra methods.
	The contents of the courses of Algebra of a degree of L-35 class.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**STRAZZANTI FRANCESCO**	**Matricola: 136759**
Docente	**STRAZZANTI FRANCESCO, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**47/2 - ALGEBRA SUPERIORE MOD. B**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**SECONDO SEMESTRE**

Testi in italiano

Contenuti	Modulo B: TEORIA DEGLI ANELLI: Richiami su: Anelli, omomorfismi tra anelli, teoremi di isomorfismo. Operazioni tra ideali: somma, prodotto, intersezione, radicale, divisione, caso degli ideali monomiali. Ideali primi, ideali massimali, relazioni tra essi, anelli locali, anelli semilocali, nilradicale e radicale di Jacobson: definizione e caratterizzazione. Estensione e contrazione di ideali rispetto ad omomorfismi. Anelli di frazioni e moduli di frazioni. Estensione e contrazione di ideali rispetto alla formazione di anelli di frazioni; ideali primi in un anello di frazioni, localizzazione e quoziente e loro commutabilità, proprietà locali. DECOMPOSIZIONE PRIMARIA Ideali primari, decomposizioni primarie e decomposizioni primarie minimali di un ideale. Teoremi di unicità per le decomposizioni primarie minimali di un ideale: unicità e caratterizzazione dei primi associati ad una decomposizione primaria minimale, primi associati ad un ideale, primi minimali e primi immersi, ideali primari e formazione di frazioni, unicità delle componenti primarie isolate. MODULI E ANELLI NOETHERIANI E ARTINIANI Condizioni sulle catene (ascendenti, discendenti, finite) in un insieme ordinato, moduli noetheriani e moduli artiniani, anelli noetheriani e anelli artiniani; esempi e controesempi; noetherianità, artinianità e successioni esatte; serie di composizione; lunghezza e additività della funzione lunghezza; proprietà degli ideali primi e del nilradicale in un anello artiniano. Teorema della Base di Hilbert. Ideali irriducibili, decomposizioni primarie e primarie minimali di ideali e moduli negli anelli noetheriani. Decomposizioni primarie di ideali monomiali in anelli di polinomi in un numero finito di indeterminate. TEORIA DELLA DIMENSIONE Altezza di un ideale, caso dei domini ad ideali principali, teorema dell'ideale principale di Krull, caso degli anelli locali, anelli regolari.
Testi di riferimento	1. M.F. Atiyah - I.G. Macdonald, Introduction to Commutative Algebra. Addison-Wesley Publishing Company, 1969. 2. A. Chambert-Loir. (Mostly) Commutative Algebra, Universitext, 2021. 3. R.Y. Sharp, Steps in commutative algebra, London Mathematical Society Student Texts, Cambridge University Press, Cambridge, 1990. 4. A. Bandini - P. Gianni - E. Sbarra, Esercizi di Algebra Commutativa, Pisa University Press, 2023
Obiettivi formativi	Conoscenza dei concetti principali dell'Algebra Commutativa e dei metodi dell'Algebra Omologica
Prerequisiti	Conoscenze acquisite nei corsi istituzionali di Algebra di un corso di laurea della classe L-35.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Module B: RING THEORY: Recalls on: Rings, homomorphisms between rings, isomorphism theorems. Operations between ideals: sum, product, intersection, radical, division, case of monomial ideals. Prime ideals, maximal ideals, relations between them, local rings, semilocal rings, nilradical and Jacobson radical: definition and characterization. Extension and contraction of ideals with respect to homomorphisms. Rings of fractions and modules of fractions. Extension and contraction of ideals with respect to fraction ring formation; prime ideals in a fraction ring, locus and quotient and their commutativity, local properties. PRIMARY DECOMPOSITION Prime ideals, prime decompositions and minimal prime decompositions of an ideal. Uniqueness theorems for minimal primary decompositions of an ideal: uniqueness and characterization of primes associated with a minimal primary decomposition, primes associated with an ideal, minimal primes and immersed primes, primary ideals and fraction formation, uniqueness of isolated primary components. NOETHERIAN AND ARTINIAN MODULES AND RINGS. Conditions on chains (ascending, descending, finite) in an ordered set, noetherian modules and artinian modules, noetherian rings and artinian rings; examples and counterexamples; noetherianity, artinianity and exact successions; composition series; length and additivity of the length function; properties of prime ideals and the nilradical in an artinian ring. Hilbert's Basis Theorem. Irreducible ideals, primary and minimal primary decompositions of ideals and modules in Noetherian rings. Primary decompositions of monomial ideals in rings of polynomials in a finite number of indeterminates. DIMENSION THEORY Height of an ideal, case of domains to principal ideals, Krull principal ideal theorem, case of local rings, regular rings.
	1. M.F. Atiyah - I.G. Macdonald, Introduction to Commutative Algebra. Addison-Wesley Publishing Company, 1969. 2. A. Chambert-Loir. (Mostly) Commutative Algebra, Universitext, 2021. 3. R.Y. Sharp, Steps in commutative algebra, London Mathematical Society Student Texts, Cambridge University Press, Cambridge, 1990. 4. A. Bandini - P. Gianni - E. Sbarra, Esercizi di Algebra Commutativa, Pisa University Press, 2023
	Knowledge of the main concepts of commutative algebra and of homological algebra methods.
	The contents of the courses of Algebra of a degree of L-35 class.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**BONANZINGA MADDALENA**	**Matricola: 019561**

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**8196 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**12**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	Italiano
Contenuti	-- Modulo: A002699 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. A -- 1.TEORIA DEGLI INSIEMI. Numeri ordinali e numeri cardinali. La teoria assiamatica di Zermelo-Fraenkel. Il cardinale ω_1. Ipotesi del continuo ed ipotesi generalizzata del continuo. Cofinalità. Teorema di Koenig. Spazi topologici linearmente ordinati. Spazi numerabilmente compatti e pseudo compatti; loro equivalenza nella classe degli spazi normali. Esempio di spazio di Tychonoff pseudo compatto non numerabilmente compatto. Spazi localmente compatti. Lo spazio topologico ω_1+1. 2. COMPLEMENTI DI TOPOLOGIA GENERALE. Filtri e ultrafiltri. La compattificazione di Stone-Cech sull'insieme dei numeri naturali e un'applicazione alla numerabile compattezza. 3. FUNZIONI CARDINALI. Funzioni cardinali locali: carattere, pseudocarattere, strettezza. Il cubo di Cantor e l'insieme di Cantor. Equivalenza tra carattere e pseudocarattere nella classe di spazi Hausdorff localmente compatti. Funzioni cardinali globali: peso, peso di rete, numero di Lindelof, estensione, diffusione, numero di Lindelof ereditario, densità, densità ereditaria e cellularità. Il cubo di Tychonoff e il cubo di Hilbert. Alcune disuguaglianze cardinali. Lemma di Jones. Teorema di Hewitt-Marczewski-Pondiczery. Disuguaglianza di Arhangel’skii. Disuguaglianze di Hajnal-Juhasz. Generalizzazioni della disuguaglianza di Arhangel’skiii e delle disuguaglianze di Hajnal-Juhasz. - -- Modulo: A002700 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. B -- VARIETA’ DIFFERENZIABILI Carte locali, atlanti, strutture differenziabili, dimensione di una varietà, esempi di: varietà (sfera), prodotto di varietà (toro), strutture differenziabili. Funzioni differenziabili tra varietà, diffeomorfismi (locali), rivestimenti. SPAZI TANGENTE E SOTTOVARIETA’ Vettori tangenti, anello dei germi di funzioni, derivazioni e spazio tangente a una varietà, differenziale di una funzione tra varietà, proprietà del differenziale. Immersioni, sommersioni, embedding, sottovarietà e sottovarietà immerse, punti critici, insiemi di livello. CAMPI E FIBRATI VETTORIALI Fibrato tangente di una varietà e sua struttura, operazioni sui fibrati vettoriali, il fibrato cotangente come duale del fibrato tangente, prodotto tensoriale di spazi vettoriali, tensori (controvarianti e covarianti), contrazioni, fibrati tensoriali, sezioni di un fibrato vettoriale: campi vettoriali e campi tensoriali. Forme differenziali. Partizioni dell’unità. Flusso locale di un campo vettoriale. Parentesi e derivata di Lie,

	distribuzioni involutive, (completamente) integrabili, teorema di Frobenius, foliazioni. CONNESSIONI Connessioni su fibrati vettoriali, derivata covariante, proprietà delle connessioni, trasporto parallelo, connessioni e forme differenziali, connessioni lineari, connessione indotta sui fibrati tensoriali, derivata covariante totale, hessiano e divergenza per varietà, curvatura di una connessione. VARIETA' (PSEUDO)-RIEMANNIANE Metriche su una varietà, segnatura, connessione di Levi-Civita, isometrie, traccia di una forma bilineare, laplaciano di una funzione, geodetiche, tensore di curvatura, tensore di Ricci, cenni di Relatività Generale, equazioni di Einstein, la soluzione di Schwarzschild, esempi e applicazioni pratiche: forze di marea, dilatazione del tempo. ALGEBRA ESTERNA Forme differenziali e pull-back, proprietà del pull-back di r-forme, differenziale esterno e sue proprietà, forme chiuse e forme esatte, coomologia di de Rham. INTEGRAZIONE DI FORME DIFFERENZIALI Orientamento di uno spazio vettoriale, orientazione di una varietà differenziabile, varietà orientabili e varietà non orientabili, forme di volume e orientabilità, integrale di una n-forma su una n-varietà orientabile, n-carte (di bordo o interne) compatibili, varietà con bordo, orientazione di una varietà con bordo e orientazione indotta sul bordo, integrazione sulle varietà con bordo: il teorema di Stokes, conseguenze ed esempi, orientazione di ipersuperfici, orientazione del bordo di una varietà, applicazioni.
Testi di riferimento	-- Modulo: A002699 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. A --- 1. Ryszard Engelking, General Topology, Heldermann Verlag – Berlin (1989). 2. Karel Hrbacek and Thomas Jech, Introduction to set theory, 3rd edition, Marcel Dekker, New York (1999). 3. Kenneth Kunen, Set theory, North–Holland Publishing Co., Amsterdam, (1983). 4. J.R.Munkres, Topology, Prentice Hall, Second Edition 5. M. Bonanzinga, Note del corso di Istituzioni di Geometria Superiore, 2023 -- Modulo: A002700 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. B --- 1) M. Abate, F. Tovena, Geometria Differenziale, Springer Italia, Milano, 2011 2) F. D'Andrea, Varietà differenziabili, Esculapio, Bologna, 2020 3) E. Sernesi, Geometria 2, Bollati Boringhieri, Torino, 1994
Obiettivi formativi	Conoscenza dei fondamenti della teoria degli insiemi con applicazioni alla topologia generale con particolare riferimento alla teoria delle funzioni cardinali in topologia generale. Conoscenza dei principali metodi e risultati della Geometria Differenziale.
Prerequisiti	Conoscenze di base di topologia generale e logica matematica elementare. Conoscenze di base di algebra, geometria e analisi.
Metodi didattici	Il corso si svolge prevalentemente attraverso lezioni frontali. Sono previste esercitazioni in aula con lo scopo di stimolare l'approccio ai problemi con autonomia e senso critico e prove in itinere. Le attività sono svolte anche con il supporto di slide.
Altre informazioni	
Modalità di verifica dell'apprendimento	L'esame consiste in una prova orale che prevede un colloquio per ogni singolo modulo e il voto finale è dato dalla media aritmetica dei voti dei due colloqui. I due colloqui sono volti a verificare il grado di raggiungimento degli obiettivi formativi, ovvero il livello di conoscenza degli argomenti e la capacità di affrontare problematiche negli specifici ambiti. Per il modulo A sono previste due prove in itinere (facoltative) che prevedono l'esposizione di alcuni teoremi, esempi e controesempi sulla teoria degli insiemi e complementi di topologia generale (prima prova) e relativi alle funzioni cardinali (seconda prova). Lo studente che supera le prove intermedie è esonerato dal colloquio orale relativo al modulo A e il voto del colloquio relativo al modulo A è dato dalla media aritmetica dei voti delle due prove in

itinere. Lo studente che non supera una delle due prove intermedie previste per il modulo A deve sostenere il colloquio finale in una qualsiasi delle date previste dal calendario d'esami che riguarderà argomenti della parte di programma relativi alla prova precedentemente non superata. Se la prova finale ha esito positivo, il voto finale relativo alla parte del modulo A è la media aritmetica dei voti conseguiti in ciascuna delle prove (intermedia e finale) sostenute e superate. Relativamente al modulo A , lo studente può decidere di non sostenere alcuna prova intermedia e sostenere solo il colloquio finale (in una qualsiasi delle date previste dal calendario d'esami), che riguarda gli argomenti dell'intero programma del modulo A. Per il modulo B è prevista la redazione e la discussione di una tesina concernente lo sviluppo dettagliato di un argomento del programma più un colloquio finale che verterà su tutto il resto del programma svolto. Il voto finale per il modulo B è la media aritmetica dei voti conseguiti nella presentazione della tesina e nel colloquio finale

Programma esteso

-- Modulo: A002699 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. A -- 1.TEORIA DEGLI INSIEMI. Numeri ordinali e numeri cardinali. La teoria assiamatica di Zermelo-Fraenkel. Il cardinale ω_1. Ipotesi del continuo ed ipotesi generalizzata del continuo. Cofinalità. Teorema di Koenig. Spazi topologici linearmente ordinati. Spazi numerabilmente compatti e pseudo compatti; loro equivalenza nella classe degli spazi normali. Esempio di spazio di Tychonoff pseudo compatto non numerabilmente compatto. Spazi localmente compatti. Lo spazio topologico ω_1+1. 2. COMPLEMENTI DI TOPOLOGIA GENERALE. Filtri e ultrafiltri. La compattificazione di Stone-Cech sull'insieme dei numeri naturali e un'applicazione alla numerabile compattezza. 3. FUNZIONI CARDINALI. Funzioni cardinali locali: carattere, pseudocarattere, strettezza. Il cubo di Cantor e l'insieme di Cantor. Equivalenza tra carattere e pseudocarattere nella classe di spazi Hausdorff localmente compatti. Funzioni cardinali globali: peso, peso di rete, numero di Lindelof, estensione, diffusione, numero di Lindelof ereditario, densità, densità ereditaria e cellularità. Il cubo di Tychonoff e il cubo di Hilbert. Alcune disuguaglianze cardinali. Lemma di Jones. Teorema di Hewitt-Marczewski-Pondiczery. Disuguaglianza di Arhangel'skii. Disuguaglianze di Hajnal-Juhasz. Generalizzazioni della disuguaglianza di Arhangel'skiii e delle disuguaglianze di Hajnal-Juhasz. - --- Modulo: A002700 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. B -- VARIETA' DIFFERENZIABILI Carte locali, atlanti, strutture differenziabili, dimensione di una varietà, esempi di: varietà (sfera), prodotto di varietà (toro), strutture differenziabili. Funzioni differenziabili tra varietà, diffeomorfismi (locali), rivestimenti. SPAZI TANGENTE E SOTTOVARIETA' Vettori tangenti, anello dei germi di funzioni, derivazioni e spazio tangente a una varietà, differenziale di una funzione tra varietà, proprietà del differenziale. Immersioni, sommersioni, embedding, sottovarietà e sottovarietà immerse, punti critici, insiemi di livello. CAMPI E FIBRATI VETTORIALI Fibrato tangente di una varietà e sua struttura, operazioni sui fibrati vettoriali, il fibrato cotangente come duale del fibrato tangente, prodotto tensoriale di spazi vettoriali, tensori (controvarianti e covarianti), contrazioni, fibrati tensoriali, sezioni di un fibrato vettoriale: campi vettoriali e campi tensoriali. Forme differenziali. Partizioni dell'unità. Flusso locale di un campo vettoriale. Parentesi e derivata di Lie, distribuzioni involutive, (completamente) integrabili, teorema di Frobenius, foliazioni. CONNESSIONI Connessioni su fibrati vettoriali, derivata covariante, proprietà delle connessioni, trasporto parallelo, connessioni e forme differenziali, connessioni lineari, connessione indotta sui fibrati tensoriali, derivata covariante totale, hessiano e divergenza per varietà, curvatura di una connessione. VARIETA' (PSEUDO)-RIEMANNIANE Metriche su una varietà, segnatura, connessione di Levi-Civita, isometrie, traccia di una forma bilineare, laplaciano di una funzione, geodetiche, tensore di curvatura, tensore di Ricci, cenni di Relatività Generale, equazioni di Einstein, la soluzione di Schwarzschild, esempi e applicazioni pratiche: forze di marea, dilatazione del tempo. ALGEBRA ESTERNA Forme differenziali e pull-back, proprietà del pull-back di r-forme, differenziale esterno e sue proprietà, forme chiuse e forme esatte, coomologia di de Rham. INTEGRAZIONE DI FORME DIFFERENZIALI

Orientamento di uno spazio vettoriale, orientazione di una varietà differenziabile, varietà orientabili e varietà non orientabili, forme di volume e orientabilità, integrale di una n-forma su una n-varietà orientabile, n-carte (di bordo o interne) compatibili, varietà con bordo, orientazione di una varietà con bordo e orientazione indotta sul bordo, integrazione sulle varietà con bordo: il teorema di Stokes, conseguenze ed esempi, orientazione di ipersuperfici, orientazione del bordo di una varietà, applicazioni.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	-- Modulo: A002699 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. A --- 1. SET THEORY. Ordinal and cardinal numbers. Zermelo-Fraenkel theory. The cardinal ω_1. Continuum hypothesis and generalized continuum hypothesis. Cofinality. Koenig's theorem. Linearly ordered topological spaces. Countable compactness, pseudo compactness and their equivalence in the class of normal spaces. A Tychonoff pseudo compact non countably compact spaces. Locally compact spaces. The space ω_1 +1. 2. COMPLEMENTS OF GENERAL TOPOLOGY. Filters and ultrafiltes. The Stone-Cech compactifications of the set of natual numbers and an application to countable compactness. 3. CARDINAL FUNCTIONS. Local cardinal function: character, pseudocharacter, tightness. The Cantor cube and the Cantor set. Character and pseudocharacter are equivalent in the class of locally compact Hausdorff spaces. Global cardinal functions: weight, netweight, Lindelof number, spread, hereditary Lindelof number, density, hereditary density and cellularity. Tychonoff cube and Hilbert cube. Some cardinal inequalities. Jones lemma. Hewitt- Marczewski-Pondiczery theorem. Arhangel’skii inequality. Hajnal-Juasz inequalities. Generalization of Arhangel’skii and Hajnal-Juhasz inequalities. --- Modulo: A002700 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. B -- SMOOTH MANIFOLDS Local charts, atlases, smooth structures, dimension of a manifold, examples of: manifolds (sphere), manifold product (torus). Smooth maps between smooth manifolds, (local) diffeomorphisms, covering maps. TANGENT SPACES AND SUBMANIFOLDS Tangent vectors, ring of germs of functions, derivations and tangent space to a manifold, differential of a smooth map function between manifolds, properties of the differential. Immersions, submersions, embeddings, embedded submanifolds and immersed submanifolds, critical points, level sets. FIELD AND VECTOR BUNDLES Tangent bundle of a manifold and its structure, operations on vector bundles, the cotangent bundle as the dual of the tangent bundle, tensor product of vector spaces, (countervariants and covariants) tensors, contractions, tensor bundles, sections of a vector bundle: vector fields and tensor fields. Differential forms. Partitions of the unit. Local flux of a vector field. Lie bracket and Lie derivative, involutional distributions, (fully) integrable distributions, Frobenius’ theorem, foliations. CONNECTIONS Connections on vector bundles, covariant derivative, properties of the connections, parallel transport, connections and differential forms, linear connections, induced connection on tensor bundles, total covariant derivative, hessian and divergence with regard to manifolds, curvature of a connection. (PSEUDO)-RIEMANNIAN MANIFOLDS Metrics on manifolds, marking, Levi-Civita connection, isometries, trace of a bilinear form, Laplacian of a function, geodesics,

curvature tensor, Ricci tensor, basics of General Relativity, Einstein equations, Schwarzschild solution, examples and practices: tidal forces, time dilatation. EXTERIOR ALGEBRA Differential forms and pull-back, properties of the pull-back of r-forms, exterior differential and properties of it, closed forms and exact forms, de Rham cohomology. INTEGRATION OF DIFFERENTIAL FORMS Orientation of a vector space, orientation of a differentiable manifold, orientable and non-orientable manifolds, volume forms and orientation, integral of a n-form on an orientable n-dimensional manifold, compatible (edge or interior) n-charts, manifolds with an edge, orientation of a manifold with an edge and induced orientation on the edge, integration on manifolds with an edge: Stokes' theorem, consequences and examples, orientation of hypersurfaces, orientation of the edge of a manifold, applications.

	--- Modulo: A002699 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. A -- 1. Ryszard Engelking, General Topology, Heldermann Verlag – Berlin (1989). 2. Karel Hrbacek and Thomas Jech, Introduction to set theory, 3rd edition, Marcel Dekker, New York (1999). 3. Kenneth Kunen, Set theory, North–Holland Publishing Co., Amsterdam, (1983). 4. J.R.Munkres, Topology, Prentice Hall, Second Edition 5. M. Bonanzinga, Note del corso di Istituzioni di Geometria Superiore, 2023 --- Modulo: A002700 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. B -- 1) M. Abate, F. Tovena, Geometria Differenziale, Springer Italia, Milano, 2011 2) F. D'Andrea, Varietà differenziabili, Esculapio, Bologna, 2020 3) E. Sernesi, Geometria 2, Bollati Boringhieri, Torino, 1994
	Knowledge of the foundations of the set theory with applications to general topology with particular reference to the theory of cardinal functions in general topology. Knowledge of the main methods and results of differential geometry.
	Basic knowledge of general topology and elements of mathematical logic. Basic knowledge of algebra, geometry and calculus.
	The course mainly takes place through lectures. There are also exercises in the classroom with the aim of stimulating the approach to problem solving with autonomy and a critical thinking and intermediate tests. The activities are carried out with the support of slides too.
	The exam consists of an oral test that includes an oral exam for each module, and the final grade is the arithmetic average of the grades from the two oral exams. For Module A, there are two optional in itinere tests that involve presenting some theorems, examples, and counterexamples on set theory and complements of general topology (first test) and cardinal functions (second test). Students who pass the intermediate tests are exempt from the oral exam for Module A, and the grade for the Module A oral exam is the arithmetic average of the grades from the two in itinere tests. Students who do not pass one of the two intermediate tests for Module A must take the final oral exam on any of the dates scheduled in the exam calendar, which will cover topics from the part of the syllabus related to the previously failed test. If the final test is passed, the final grade for Module A is the arithmetic average of the grades obtained in each of the tests (intermediate and final) taken and passed. For Module A, students can decide not to take any intermediate tests and only take the final oral exam (on any of the dates scheduled in the exam calendar), which covers the topics of the entire Module A program. For Module B, students must write and discuss a essay on a detailed topic from the program, plus a final oral exam covering the rest of the program. The final grade for Module B is the arithmetic average of

the grades obtained in the paper presentation and the final oral exam.

-- Modulo: A002699 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. A -- 1. SET THEORY. Ordinal and cardinal numbers. Zermelo-Fraenkel theory. The cardinal ω_1. Continuum hypothesis and generalized continuum hypothesis. Cofinality. Koenig's theorem. Linearly ordered topological spaces. Countable compactness, pseudo compactness and their equivalence in the class of normal spaces. A Tychonoff pseudo compact non countably compact spaces. Locally compact spaces. The space ω_1 +1. 2. COMPLEMENTS OF GENERAL TOPOLOGY. Filters and ultrafiltes. The Stone-Cech compactifications of the set of natual numbers and an application to countable compactness. 3. CARDINAL FUNCTIONS. Local cardinal function: character, pseudocharacter, tightness. The Cantor cube and the Cantor set. Character and pseudocharacter are equivalent in the class of locally compact Hausdorff spaces. Global cardinal functions: weight, netweight, Lindelof number, spread, hereditary Lindelof number, density, hereditary density and cellularity. Tychonoff cube and Hilbert cube. Some cardinal inequalities. Jones lemma. Hewitt- Marczewski-Pondiczery theorem. Arhangel’skii inequality. Hajnal-Juasz inequalities. Generalization of Arhangel’skii and Hajnal-Juhasz inequalities. -- Modulo: A002700 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. B -- SMOOTH MANIFOLDS Local charts, atlases, smooth structures, dimension of a manifold, examples of: manifolds (sphere), manifold product (torus). Smooth maps between smooth manifolds, (local) diffeomorphisms, covering maps. TANGENT SPACES AND SUBMANIFOLDS Tangent vectors, ring of germs of functions, derivations and tangent space to a manifold, differential of a smooth map function between manifolds, properties of the differential. Immersions, submersions, embeddings, embedded submanifolds and immersed submanifolds, critical points, level sets. FIELD AND VECTOR BUNDLES Tangent bundle of a manifold and its structure, operations on vector bundles, the cotangent bundle as the dual of the tangent bundle, tensor product of vector spaces, (countervariants and covariants) tensors, contractions, tensor bundles, sections of a vector bundle: vector fields and tensor fields. Differential forms. Partitions of the unit. Local flux of a vector field. Lie bracket and Lie derivative, involutional distributions, (fully) integrable distributions, Frobenius’ theorem, foliations. CONNECTIONS Connections on vector bundles, covariant derivative, properties of the connections, parallel transport, connections and differential forms, linear connections, induced connection on tensor bundles, total covariant derivative, hessian and divergence with regard to manifolds, curvature of a connection. (PSEUDO)-RIEMANNIAN MANIFOLDS Metrics on manifolds, marking, Levi-Civita connection, isometries, trace of a bilinear form, Laplacian of a function, geodesics, curvature tensor, Ricci tensor, basics of General Relativity, Einstein equations, Schwarzschild solution, examples and practices: tidal forces, time dilatation. EXTERIOR ALGEBRA Differential forms and pull-back, properties of the pull-back of r-forms, exterior differential and properties of it, closed forms and exact forms, de Rham cohomology. INTEGRATION OF DIFFERENTIAL FORMS Orientation of a vector space, orientation of a differentiable manifold, orientable and non-orientable manifolds, volume forms and orientation, integral of a n-form on an orientable n-dimensional manifold, compatible (edge or interior) n-charts, manifolds with an edge, orientation of a manifold with an edge and induced orientation on the edge, integration on manifolds with an edge: Stokes’ theorem, consequences and examples, orientation of hypersurfaces, orientation of the edge of a manifold, applications.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**BONANZINGA MADDALENA**	**Matricola: 019561**
Docente	**BONANZINGA MADDALENA, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002699 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. A**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	1.TEORIA DEGLI INSIEMI. Numeri ordinali e numeri cardinali. La teoria assiamatica di Zermelo-Fraenkel. Il cardinale ω_1. Ipotesi del continuo ed ipotesi generalizzata del continuo. Cofinalità. Teorema di Koenig. Spazi topologici linearmente ordinati. Spazi numerabilmente compatti e pseudo compatti; loro equivalenza nella classe degli spazi normali. Esempio di spazio di Tychonoff pseudo compatto non numerabilmente compatto. Spazi localmente compatti. Lo spazio topologico ω_1+1. 2. COMPLEMENTI DI TOPOLOGIA GENERALE. Filtri e ultrafiltri. La compattificazione di Stone-Cech sull'insieme dei numeri naturali e un'applicazione alla numerabile compattezza. 3. FUNZIONI CARDINALI. Funzioni cardinali locali: carattere, pseudocarattere, strettezza. Il cubo di Cantor e l'insieme di Cantor. Equivalenza tra carattere e pseudocarattere nella classe di spazi Hausdorff localmente compatti. Funzioni cardinali globali: peso, peso di rete, numero di Lindelof, estensione, diffusione, numero di Lindelof ereditario, densità, densità ereditaria e cellularità. Il cubo di Tychonoff e il cubo di Hilbert. Alcune disuguaglianze cardinali. Lemma di Jones. Teorema di Hewitt-Marczewski-Pondiczery. Disuguaglianza di Arhangel’skii. Disuguaglianze di Hajnal-Juhasz. Generalizzazioni della disuguaglianza di Arhangel’skiii e delle disuguaglianze di Hajnal-Juhasz.
Testi di riferimento	1. Ryszard Engelking, General Topology, Heldermann Verlag – Berlin (1989). 2. Karel Hrbacek and Thomas Jech, Introduction to set theory, 3rd edition, Marcel Dekker, New York (1999). 3. Kenneth Kunen, Set theory, North–Holland Publishing Co., Amsterdam, (1983). 4. J.R.Munkres, Topology, Prentice Hall, Second Edition 5. M. Bonanzinga, Note del corso di Istituzioni di Geometria Superiore, 2023
Obiettivi formativi	Conoscenza dei fondamenti della teoria degli insiemi con applicazioni alla topologia generale con particolare riferimento alla teoria delle funzioni cardinali in topologia generale.
Prerequisiti	Conoscenze di base di topologia generale e logica matematica elementare.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	1. SET THEORY. Ordinal and cardinal numbers. Zermelo-Fraenkel theory. The cardinal ω_1. Continuum hypothesis and generalized continuum hypothesis. Cofinality. Koenig's theorem. Linearly ordered topological spaces. Countable compactness, pseudo compactness and their equivalence in the class of normal spaces. A Tychonoff pseudo compact non countably compact spaces. Locally compact spaces. The space ω_1 +1. 2. COMPLEMENTS OF GENERAL TOPOLOGY. Filters and ultrafiltes. The Stone-Cech compactifications of the set of natual numbers and an application to countable compactness. 3. CARDINAL FUNCTIONS. Local cardinal function: character, pseudocharacter, tightness. The Cantor cube and the Cantor set. Character and pseudocharacter are equivalent in the class of locally compact Hausdorff spaces. Global cardinal functions: weight, netweight, Lindelof number, spread, hereditary Lindelof number, density, hereditary density and cellularity. Tychonoff cube and Hilbert cube. Some cardinal inequalities. Jones lemma. Hewitt- Marczewski-Pondiczery theorem. Arhangel’skii inequality. Hajnal-Juasz inequalities. Generalization of Arhangel’skii and Hajnal-Juhasz inequalities.
	1. Ryszard Engelking, General Topology, Heldermann Verlag – Berlin (1989). 2. Karel Hrbacek and Thomas Jech, Introduction to set theory, 3rd edition, Marcel Dekker, New York (1999). 3. Kenneth Kunen, Set theory, North–Holland Publishing Co., Amsterdam, (1983). 4. J.R.Munkres, Topology, Prentice Hall, Second Edition 5. M. Bonanzinga, Note del corso di Istituzioni di Geometria Superiore, 2023
	Knowledge of the foundations of the set theory with applications to general topology with particular reference to the theory of cardinal functions in general topology.
	Basic knowledge of general topology and elements of mathematical logic.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**IMBESI MAURIZIO**	**Matricola: 004764**
Docente	**IMBESI MAURIZIO, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002700 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE MOD. B**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	Varietà differenziabili. Carte locali, omeomorfismi, funzioni di transizione, atlanti, dimensione di una varietà, funzioni su una varietà di classe C^r in un punto di essa, varietà di classe C^{infinito}, esempi di: varietà (sfera), prodotto di varietà (toro), strutture differenziabili. Funzioni differenziabili tra varietà, diffeomorfismi (locali e non), rivestimenti (universali e non), gruppi di Lie ed esempi. Spazi tangente. Vettori tangenti in un punto di una varietà, derivazioni centrate nel punto, anello dei germi delle funzioni di classe C^{infinito} nel punto, derivazioni e spazio tangente a una varietà, derivazioni e carte locali, differenziale di una funzione tra varietà, proprietà del differenziale, spazio tangente a una varietà e varietà stessa sono equidimensionali, espressione del differenziale in coordinate locali, teoremi della funzione inversa e della funzione implicita per varietà. Immersioni, sommersioni, embedding, sottovarietà e sottovarietà immerse, punti critici, insiemi di livello. Campi e fibrati vettoriali. Fibrato tangente di una varietà e sua struttura, fibrato vettoriale di rango r, operazioni sui fibrati vettoriali, il fibrato cotangente come duale del fibrato tangente, prodotto tensoriale di spazi vettoriali, tensori (controvarianti e covarianti), contrazioni, fibrati tensoriali, algebra simmetrica ed esterna, sezioni di un fibrato vettoriale: campi vettoriali e campi tensoriali, forme differenziali. Partizioni dell'unità. Campi vettoriali e derivazioni, campi vettoriali ed equazioni differenziali, flusso locale di un campo vettoriale. Parentesi e derivata di Lie, distribuzioni involutive, (completamente) integrabili, teorema di Fröbenius, foliazioni, derivata di Lie di un campo tensoriale. Connessioni. Connessioni su fibrati vettoriali, derivata covariante, proprietà delle connessioni, espressione di una connessione in coordinate locali, sezione estendibile e parallela, trasporto parallelo, connessioni e forme differenziali, connessioni lineari, connessione indotta sui fibrati tensoriali, derivata covariante totale, hessiano e divergenza per varietà, curvatura di una connessione. Varietà (pseudo)-riemanniane. Metriche su una varietà, segnatura, ogni varietà differenziabile ammette una metrica riemanniana, connessione di Levi-Civita, isometrie, traccia di una forma bilineare, laplaciano di una funzione, geodetiche, tensore di curvatura, sua invarianza per isometrie, sue proprietà, tensore di Ricci, cenni di Relatività Generale, equazioni di Einstein, la soluzione di Schwarzschild, esempi e applicazioni pratiche: forze di marea, dilatazione del tempo. L'algebra esterna. Forme differenziali e pull-back, proprietà del pull-back di r-forme, differenziale esterno e sue proprietà, forme chiuse e forme esatte, coomologia di de Rham. Integrazione di forme differenziali. Orientamento di uno spazio vettoriale, orientazione di una varietà differenziabile, varietà orientabili e varietà non orientabili, esempi, forme di volume e orientabilità, integrale

	di una n-forma su una n-varietà orientabile, n-carte (di bordo o interne) compatibili, varietà con bordo, orientazione di una varietà con bordo e orientazione indotta sul bordo, integrazione sulle varietà con bordo: il teorema di Stokes, conseguenze ed esempi, orientazione di ipersuperfici, orientazione del bordo di una varietà, applicazioni.
Testi di riferimento	1) M. Abate, F. Tovena, Geometria Differenziale, Springer Italia, Milano, 2011 2) F. D'Andrea, Varietà differenziabili, Esculapio, Bologna, 2020 3) E. Sernesi, Geometria 2, Bollati Boringhieri, Torino, 1994
Obiettivi formativi	Conoscenza dei principali metodi e risultati della Geometria Differenziale.
Prerequisiti	Conoscenze di base di algebra, geometria e analisi.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Differentiable manifolds. Local charts, homeomorphisms, transition functions, atlants, dimension of a manifold, functions on a C^r-class manifold at one point of it, C^{infinity}-class manifolds, examples of: manifolds (sphere), manifold product (torus), differentiable structures. Differentiable functions between manifolds, (local or not) diffeomorphisms, (universal or not) coverings, Lie groups and examples. Tangent spaces. Tangent vectors at one point of a manifold, derivations centered at the point, ring of germs of C^{infinity}-class functions at the point, derivations and tangent space to a manifold, derivations and local charts, differential of a function between manifolds, properties of the differential, tangent space at a manifold and manifold itself are equidimensional, formulation of the differential in local coordinates, theorems of the inverse function and implicit function with regard to manifolds. Immersions, submersions, embeddings, submanifolds and embedded submanifolds, critical points, level sets. Field and vector bundles. Tangent bundle of a manifold and its structure, vector bundle of rank r, operations on vector bundles, the cotangent bundle as the dual of the tangent bundle, tensor product of vector spaces, (countervariants and covariants) tensors, contractions, tensor bundles, symmetric and exterior algebra, sections of a vector bundle: vector fields and tensor fields, differential forms. Partitions of the unit. Vector fields and derivations, vector fields and differential equations, local flow of a vector field. Lie parenthesis and Lie derivative, involutional distributions, (fully) integrable distributions, Fröbenius theorem, foliations, Lie derivative of a tensor field. Connections. Connections on vector bundles, covariant derivative, properties of the connections, expression of a connection in local coordinates, extendable and parallel section, parallel transport, connections and differential forms, linear connections, induced connection on tensor bundles, total covariant derivative, hessian and divergence with regard to manifolds, curvature of a connection. (Pseudo)-Riemannian manifolds. Metrics on a manifold, marking, each differentiable manifold admits a Riemannian metric, Levi-Civita connection, isometries, trace of a bilinear form, Laplacian of a function, geodesics, curvature tensor, invariance for isometries of it, properties of it, Ricci tensor, basics of General Relativity, Einstein equations, Schwarzschild solution, examples and practices: tidal forces, time dilatation. Exterior algebra. Differential forms and pull-back, properties of the pull-back of r-forms, exterior differential and properties of it, closed

	forms and exact forms, de Rham's cohomology. Integration of differential forms. Orientation of a vector space, orientation of a differentiable manifold, orientable and non-orientable manifolds, examples, volume forms and orientation, integral of an n-form on a orientable n-manifold, compatible (edge or interior) n-charts, manifolds with an edge, orientation of a manifold with an edge and induced orientation on the edge, integration on manifolds with an edge: Stokes theorem, consequences and examples, orientation of hypersurfaces, orientation of the edge of a manifold, applications.
	1) M. Abate, F. Tovena, Geometria Differenziale, Springer Italia, Milano, 2011 2) F. D'Andrea, Varietà differenziabili, Esculapio, Bologna, 2020 3) E. Sernesi, Geometria 2, Bollati Boringhieri, Torino, 1994
	Knowledge of the main methods and results of differential geometry.
	Basic knowledge of algebra, geometry and calculus.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did. **CUBIOTTI PAOLO** **Matricola: 009196**

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**1470 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**12**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	Italiano
Contenuti	--- Modulo: A002701 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. A --- Integrazione in uno spazio di misura: integrale delle funzioni elementari, integrale delle funzioni misurabili e non negative, teorema di Beppo Levi, funzioni μ-quasi-integrabili e loro integrale, funzioni μ-integrabili, proprietà verificate μ-quasi-ovunque, integrale delle funzioni definite μ-quasi-ovunque. Integrazione rispetto ad una misura prodotto: prodotto di σ-algebre, prodotto di misure σ-finite, teorema di Tonelli, teorema di Fubini, teoremi di Tonelli e di Fubini per la misura di Lebesgue m_p+q. Gli spazi L^p: funzioni numeriche μ-integrabili con l'esponente p, disuguaglianze di Hölder e di Minkowski, spazio semimetrico L^p (0< p <+∞), spazio L^∞, completezza di L^∞, inclusioni tra spazi L^p, disuguaglianze di Clarkson, duale topologico degli spazi L^p per 1≤p≤∞, riflessività degli spazi L^p per 1≤p≤∞, separabilità degli spazi L^p per 1≤p≤∞. Vari modi di convergenza delle successioni di funzioni reali misurabili: lemma di Fatou, convergenza μ-quasi-ovunque, convergenza in media di ordine p, teorema della convergenza dominata, completezza di L^p (0< p <+∞), convergenza μ-quasi-uniforme, teorema di Severini-Egorov, convergenza in misura, criterio di Weyl-Riesz per la convergenza in misura. Misure con densità: misure con segno munite di densità rispetto ad una misura μ, misure con segno assolutamente continue rispetto ad una misura μ, assoluta continuità nel senso di Vitali e nel senso di Caccioppoli, teorema di Radon-Nykodym. Il teorema di Vitali: equi-assoluta continuità secondo Vitali e secondo Caccioppoli, teorema di Vitali sulla convergenza in media di ordine p. --- Modulo: A002702 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. B --- FUNZIONI A VARIAZIONE LIMITATA (VL): Variazione totale di una

	funzione. Funzioni a variazione limitata. Monotonia ed additività della variazione totale. Operazioni con le funzioni a variazione limitata. Rappresentazione di una funzione VL come differenza di funzioni monotone. Derivabilità q.o. di una funzione VL, e sommabilità della derivata. Limitatezza, misurabilità e sommabilità di una funzione VL. Insieme delle discontinuità di una funzione VL. Continuità della variazione totale di funzioni continue a VL. FUNZIONI ASSOLUTAMENTE CONTINUE (AC): Funzioni assolutamente continue. Uniforme continuità e variazione limitata di una funzione AC. Continuità assoluta della funzione integrale di una funzione sommabile. Derivata della funzione integrale di una funzione sommabile. Funzioni AC con derivata quasi ovunque nulla. Formula di Newton-Leibniz. Ulteriori caratterizzazioni delle funzioni AC. IL TEOREMA DI ASCOLI ARZELA': Lo spazio metrico L°(X,Y) delle funzioni limitate. Funzioni totalmente limitate e le funzioni equi-totalmente limitate. Criterio di totale limitatezza in L°(X,Y). Funzioni equicontinue e funzioni equi-uniformemente continue. Teorema di Cantor generalizzato. Completezza di L°(X,Y) e C°(X,Y). Teorema di Ascoli-Arzelà e sue applicazioni. SOLUZIONI GENERALIZZATE DI EDO ORDINARIE DEL 1 ORDINE IN FORMA NORMALE: Definitione di soluzione generalizzata. Funzioni di Caratheodory. Teoremi di Peano e di Caratheodory. Holderianità e lipschitzianità delle soluzioni. Cenni su derivate deboli e spazi di Sobolev in dimensione uno. Cenni su alcune classi di equazioni integrali. ANALISI MULTIVOCA: Multifunzioni. Semicontinuità inferiore e superiore di una multifunzione, e loro caratterizzazioni. Multifunzioni continue e loro caratterizzazioni. Multifunzioni con grafico chiuso. Immagine di uno spazio topologico compatto e di uno spazio topologico connesso. Selezioni di una multifunzione. Teorema di Michael. Estensione di selezioni continue e di funzioni continue. Distanza di Hausdorff e sue proprietà. Multifunzioni Lipschitziane. Semicontinuità inferiore, superiore e continuità in senso metrico. Punti fissi. Teorema di Nadler. Multifunzioni misurabili. Teorema di Kuratowski e Ryll-Nardzewski. Rappresentazione di Castaing.
Testi di riferimento	-- Modulo: A002701 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. A -- -Alberto Tesei, Istituzioni di analisi superiore, Bollati Boringhieri, 1997 -Haim Brezis, Analisi funzionale, Liguori Editore, 1986 -- Modulo: A002702 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. B -- P. Cannarsa, T. D'Aprile, Introduzione alia teoria della misura e all'analisi funzionale, Springer-Verlag, Milano, 2008. V.I. Bogachev, Measure Theory, Vol. I, Springer, Berlin, 2007. E.A. Coddington, N. Levinson, Theory of Ordinary Differential Equations, McGraw-Hill, New York, 1955. J.K. Hale, Ordinary Differential Equations (2nd ed.), Robert E. Krieger Publishing Company, 1980. E. Klein, A.C. Thompson, Theory of Correspondences, John Wiley and Sons, New York, 1984. H. Brezis, Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations Springer, New York, 2011. DISPENSE FORNITE DAL DOCENTE.
Obiettivi formativi	Conoscenza di elementi di teoria astratta dell'integrazione e studio degli spazi Lp. Conoscenza degli elementi fondamentali di: analisi multivoca, teoria delle funzioni assolutamente continue e a variazione limitata, soluzioni generalizzate per equazioni differenziali ordinarie, equazioni integrali. Acquisizione delle relative abilità di calcolo.
Prerequisiti	Successioni e serie di funzioni, elementi di topologia generale, teoria della misura di Lebesgue, elementi di base della teoria astratta della misura e teoria degli spazi normati. Calcolo differenziale e integrale per funzioni di una o più variabili,

	successioni e serie di funzioni, topologia generale, spazi metrici, teoria della misura e dell'integrazione nel senso di Lebesgue, teoria degli spazi normati.
Metodi didattici	Lezioni ed esercitazioni frontali.
Modalità di verifica dell'apprendimento	Prova orale finale, che verterà sia sugli argomenti trattati nelle lezioni teoriche che su quelli trattati nelle esercitazioni. La valutazione finale terrà conto in egual misura di entrambi gli aspetti (teoria ed esercitazioni), e verranno valutati il grado di preparazione raggiunto (conoscenza e comprensione degli argomenti e capacità di calcolo acquisite), la proprietà di linguaggio e la capacità espositiva rispetto agli argomenti trattati, il grado di padronanza degli argomenti trattati e degli strumenti di calcolo acquisiti. Sarà prevista una prova in itinere, facoltativa, relativa agli argomenti trattati nel Modulo A, del cui esito, se positivo, si terrà conto al momento dell'esame finale, facendo la media della votazione riportata nella prova in itinere (relativa agli argomenti del Modulo A), e della votazione riportata nell'esame finale (che in tal caso verterà solo sugli argomenti del Modulo B).

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	-- Modulo: A002701 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. A -- Integration in a measure space: integral of the elementary functions, integral of measurable and non-negative functions, Beppo Levi's theorem, μ-quasi-integrable functions and their integral, μ-integrable functions, properties verified μ-almost-everywhere, integral of the functions defined μ-almost-everywhere. Integration with respect to a product measure: product of σ-algebras, product of σ-finite measures, Tonelli's theorem, Fubini's theorem, Tonelli and Fubini's theorems for the Lebesgue measure m_p+q. L^p spaces: numeric functions μ-integrable with the exponent p, Hölder and Minkowski inequalities, semimetric space L^p (0 <p <+ ∞), L^∞, completeness of L^∞, inclusions between L^p spaces, Clarkson inequalities, topological dual of L^p spaces for 1≤p≤∞, reflexivity of L^p spaces for 1≤p≤∞, separability of L^p space for 1≤p≤∞. Various type of convergence of the sequences of measurable real functions: Fatou's lemma, μ-almost-everywhere convergence, convergence in the p-th mean, dominated convergence theorem, completeness of L^p (0<p<+ ∞), μ-quasi-uniform convergence, Severini-Egorov theorem, convergence in measure, Weyl-Riesz criterion for convergence in measure. Measure with a density: absolutely continuous signed measure with respect to a measure μ, absolute continuity in the sense of Vitali and in the sense of Caccioppoli, Radon-Nykodym theorem. The Vitali theorem: equi-absolute continuity according to Vitali and according to Caccioppoli, Vitali's theorem on p-th mean convergence.

Modulo: A002702 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. B

FUNCTIONS OF BOUNDED VARIATION (BV): Total variation of a real-valued function. Bounded variation (BV) functions. Monotonicity and additivity of the total variation. Operations with functions of bounded variation. Representation of BV functions as difference of two monotone functions. Existence a.e. of the derivative of a BV function, and its summability. Every BV function is bounded, measurable and summable. Points of discontinuity of a BV function. Continuity of the total variation of a BV function.

ABSOLUTELY CONTINUOUS (AC) FUNCTIONS: Absolutely continuous functions. Uniform continuity and bounded variation of an AC function. The integral function of a summable function is absolutely continuous. Derivative of the integral function of a summable function. AC functions with almost everywhere zero derivative. Newton-Leibniz formula. Further characterizations of AC functions.

THE ASCOLI-ARZELA' THEOREM: The metric space L°(X,Y) of bounded functions. Totally bounded and equi-totally bounded functions. Characterization of totally bounded sets in L°(X,Y). Equicontinuous and equi-uniformly continuous functions. The generalized Cantor theorem. Completeness of L°(X,Y) e C°(X,Y). The Ascoli-Arzelà theorem and some applications.

GENERALIZED SOLUTIONS OF 1-ORDER ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS IN NORMAL FORM: The notion of generalized solution. Caratheodory functions. Peano's theorem and Caratheodory's theorem. Holderian and Lipschitzian solutions.
Hints on weak derivative and Sobolev spaces on intervals. Hints on some classes of integral equations.

SET-VALUED ANALYSIS: Multifunctions. Lower and upper semicontinuity of a multifunction, and their characterizations. Continuous multifunctions and their characterizations. Multifunctions with closed graph. Image of a compact space and of a connected space. Selections of a multifunction. Michael's theorem. Extension of continuous selections and of continuous functions. The Hausdorff distance and its properties. Lipschitzian multifunctions. Lower semicontinuity, upper semicontinuity and continuity in metric sense. Fixed points. Nadler's theorem. Measurable multifunctions. Kuratowski and Ryll-Nardzewski's theorem. Castaing's representation.

--- Modulo: A002701 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. A --- -Alberto Tesei, Istituzioni di analisi superiore, Bollati Boringhieri, 1997 -Haim Brezis, Analisi funzionale, Liguori Editore, 1986 - --- Modulo: A002702 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. B --- P. Cannarsa, T. D'Aprile, Introduzione alia teoria della misura e all'analisi funzionale, Springer-Verlag, Milano, 2008. V.I. Bogachev, Measure Theory, Vol. I, Springer, Berlin, 2007. E.A. Coddington, N. Levinson, Theory of Ordinary Differential Equations, McGraw-Hill, New York, 1955. J.K. Hale, Ordinary Differential Equations (2nd ed.), Robert E. Krieger Publishing Company, 1980. E. Klein, A.C. Thompson, Theory of Correspondences, John Wiley and Sons, New York, 1984. H. Brezis, Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations Springer, New York, 2011. LECTURE NOTES provided by the teacher.

	Knowledge of elements of abstract integration theory and theory of Lp spaces. Knowledge of the basic elements of the theory of: set-valued analysis, bounded variation and absolutely continuous functions, generalized solutions of ordinary differential equations, integral equations. Acquisition of the related calculus skills
	Sequences and series of functions, elements of general topology, Lebesgue measure theory, basic elements of abstract measure theory and normed spaces theory. Differential and integral calculus for functions of one or several variables, function sequences and series, general topology, metric spaces, measure and Lebesgue integration theory, normed space theory.
	Frontal lessons and exercises.
	Final oral examination, on both theory and exercises. The final rating will take into account both aspects (theory and exercises), and will be taken into account the level of preparation (knowledge and understanding of the arguments and calculus skills), language skills and exhibition capacity of the arguments, lever of mastery of the arguments and of the calculus tools. An optional ongoing test, dealing with the topics of the Mod. A, will be carried out. The outcome of this latter test, if passed, will be taken into account during the final examination. In this occurrence, the final rating will be obtained as the average between the rating obtained in the ongoing test (concerning the arguments of Mod. A) and the one obtained in the final examination (in this case, concerning only the arguments of Mod. B).

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**CAMMAROTO FILIPPO**	**Matricola: 019572**
Docente	**CAMMAROTO FILIPPO, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002701 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. A**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	Integrazione in uno spazio di misura: integrale delle funzioni elementari, integrale delle funzioni misurabili e non negative, teorema di Beppo Levi, funzioni μ-quasi-integrabili e loro integrale, funzioni μ-integrabili, proprietà verificate μ-quasi-ovunque, integrale delle funzioni definite μ-quasi-ovunque. Integrazione rispetto ad una misura prodotto: prodotto di σ-algebre, prodotto di misure σ-finite, teorema di Tonelli, teorema di Fubini, teoremi di Tonelli e di Fubini per la misura di Lebesgue m_p+q. Gli spazi L^p: funzioni numeriche μ-integrabili con l'esponente p, disuguaglianze di Hölder e di Minkowski, spazio semimetrico L^p (0< p <+∞), spazio L^∞, completezza di L^∞, inclusioni tra spazi L^p, disuguaglianze di Clarkson, duale topologico degli spazi L^p per 1≤p≤∞, riflessività degli spazi L^p per 1≤p≤∞, separabilità degli spazi L^p per 1≤p≤∞. Vari modi di convergenza delle successioni di funzioni reali misurabili: lemma di Fatou, convergenza μ-quasi-ovunque, convergenza in media di ordine p, teorema della convergenza dominata, completezza di L^p (0< p <+∞), convergenza μ-quasi-uniforme, teorema di Severini-Egorov, convergenza in misura, criterio di Weyl-Riesz per la convergenza in misura. Misure con densità: misure con segno munite di densità rispetto ad una misura μ, misure con segno assolutamente continue rispetto ad una misura μ, assoluta continuità nel senso di Vitali e nel senso di Caccioppoli, teorema di Radon-Nykodym. Il teorema di Vitali: equi-assoluta continuità secondo Vitali e secondo Caccioppoli, teorema di Vitali sulla convergenza in media di ordine p.
Testi di riferimento	-Alberto Tesei, Istituzioni di analisi superiore, Bollati Boringhieri, 1997 -Haim Brezis, Analisi funzionale, Liguori Editore, 1986
Obiettivi formativi	Conoscenza di elementi di teoria astratta dell'integrazione e studio degli spazi Lp.
Prerequisiti	Successioni e serie di funzioni, elementi di topologia generale, teoria della misura di Lebesgue, elementi di base della teoria astratta della misura e teoria degli spazi normati.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Integration in a measure space: integral of the elementary functions, integral of measurable and non-negative functions, Beppo Levi's theorem, μ-quasi-integrable functions and their integral, μ-integrable functions, properties verified μ-almost-everywhere, integral of the functions defined μ-almost-everywhere. Integration with respect to a product measure: product of σ-algebras, product of σ-finite measures, Tonelli's theorem, Fubini's theorem, Tonelli and Fubini's theorems for the Lebesgue measure m_p+q. L^p spaces: numeric functions μ-integrable with the exponent p, Hölder and Minkowski inequalities, semimetric space L^p (0 <+ ∞), L^∞, completeness of L^∞, inclusions between L^p spaces, Clarkson inequalities, topological dual of L^p spaces for 1≤p≤∞, reflexivity of L^p spaces for 1≤p≤∞, separability of L^p space for 1≤p≤∞. Various type of convergence of the sequences of measurable real functions: Fatou's lemma, μ-almost-everywhere convergence, convergence in the p-th mean, dominated convergence theorem, completeness of L^p (0 <+ ∞), μ-quasi-uniform convergence, Severini- Egorov theorem, convergence in measure, Weyl-Riesz criterion for convergence in measure. Measure with a density: absolutely continuous signed measure with respect to a measure μ, absolute continuity in the sense of Vitali and in the sense of Caccioppoli, Radon-Nykodym theorem. The Vitali theorem: equi-absolute continuity according to Vitali and according to Caccioppoli, Vitali's theorem on p-th mean convergence.
	-Alberto Tesei, Istituzioni di analisi superiore, Bollati Boringhieri, 1997 -Haim Brezis, Analisi funzionale, Liguori Editore, 1986
	Knowledge of elements of abstract integration theory and theory of Lp spaces.
	Sequences and series of functions, elements of general topology, Lebesgue measure theory, basic elements of abstract measure theory and normed spaces theory.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**CUBIOTTI PAOLO**	**Matricola: 009196**
Docente	**CUBIOTTI PAOLO, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002702 - ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE MOD. B**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	FUNZIONI A VARIAZIONE LIMITATA (VL): Variazione totale di una funzione. Funzioni a variazione limitata. Monotonia ed additività della variazione totale. Operazioni con le funzioni a variazione limitata. Rappresentazione di una funzione VL come differenza di funzioni monotone. Derivabilità q.o. di una funzione VL, e sommabilità della derivata. Limitatezza, misurabilità e sommabilità di una funzione VL. Insieme delle discontinuità di una funzione VL. Continuità della variazione totale di funzioni continue a VL. FUNZIONI ASSOLUTAMENTE CONTINUE (AC): Funzioni assolutamente continue. Uniforme continuità e variazione limitata di una funzione AC. Continuità assoluta della funzione integrale di una funzione sommabile. Derivata della funzione integrale di una funzione sommabile. Funzioni AC con derivata quasi ovunque nulla. Formula di Newton-Leibniz. Ulteriori caratterizzazioni delle funzioni AC. IL TEOREMA DI ASCOLI ARZELA': Lo spazio metrico L°(X,Y) delle funzioni limitate. Funzioni totalmente limitate e le funzioni equi-totalmente limitate. Criterio di totale limitatezza in L°(X,Y). Funzioni equicontinue e funzioni equi-uniformemente continue. Teorema di Cantor generalizzato. Completezza di L°(X,Y) e C°(X,Y). Teorema di Ascoli-Arzelà e sue applicazioni. SOLUZIONI GENERALIZZATE DI EDO ORDINARIE DEL 1 ORDINE IN FORMA NORMALE: Definitione di soluzione generalizzata. Funzioni di Caratheodory. Teoremi di Peano e di Caratheodory. Holderianità e lipschitzianità delle soluzioni. Cenni su derivate deboli e spazi di Sobolev in dimensione uno. Cenni su alcune classi di equazioni integrali. ANALISI MULTIVOCA: Multifunzioni. Semicontinuità inferiore e superiore di una multifunzione, e loro caratterizzazioni. Multifunzioni continue e loro caratterizzazioni. Multifunzioni con grafico chiuso. Immagine di uno spazio topologico compatto e di uno spazio topologico connesso. Selezioni di una multifunzione. Teorema di Michael. Estensione di selezioni continue e di funzioni continue. Distanza di Hausdorff e sue proprietà. Multifunzioni Lipschitziane. Semicontinuità inferiore, superiore e continuità in senso metrico. Punti fissi. Teorema di Nadler. Multifunzioni misurabili. Teorema di Kuratowski e Ryll-Nardzewski. Rappresentazione di Castaing.
Testi di riferimento	P. Cannarsa, T. D'Aprile, Introduzione alia teoria della misura e all'analisi funzionale, Springer-Verlag, Milano, 2008. V.I. Bogachev, Measure Theory, Vol. I, Springer, Berlin, 2007. E.A. Coddington, N. Levinson, Theory of Ordinary Differential Equations, McGraw-Hill, New York, 1955. J.K. Hale, Ordinary Differential Equations (2nd ed.), Robert E. Krieger Publishing Company, 1980. E. Klein, A.C. Thompson, Theory of Correspondences, John Wiley and Sons, New York, 1984. H. Brezis, Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations

	Springer, New York, 2011. DISPENSE FORNITE DAL DOCENTE.

Obiettivi formativi	Conoscenza degli elementi fondamentali di: analisi multivoca, teoria delle funzioni assolutamente continue e a variazione limitata, soluzioni generalizzate per equazioni differenziali ordinarie, equazioni integrali. Acquisizione delle relative abilità di calcolo.
Prerequisiti	Calcolo differenziale e integrale per funzioni di una o più variabili, successioni e serie di funzioni, topologia generale, spazi metrici, teoria della misura e dell’integrazione nel senso di Lebesgue, teoria degli spazi normati.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	FUNCTIONS OF BOUNDED VARIATION (BV): Total variation of a real-valued function. Bounded variation (BV) functions. Monotonicity and additivity of the total variation. Operations with functions of bounded variation. Representation of BV functions as difference of two monotone functions. Existence a.e. of the derivative of a BV function, and its summability. Every BV function is bounded, measurable and summable. Points of discontinuity of a BV function. Continuity of the total variation of a BV function. ABSOLUTELY CONTINUOUS (AC) FUNCTIONS: Absolutely continuous functions. Uniform continuity and bounded variation of an AC function. The integral function of a summable function is absolutely continuous. Derivative of the integral function of a summable function. AC functions with almost everywhere zero derivative. Newton-Leibniz formula. Further characterizations of AC functions. THE ASCOLI-ARZELA' THEOREM: The metric space L°(X,Y) of bounded functions. Totally bounded and equi-totally bounded functions. Characterization of totally bounded sets in L°(X,Y). Equicontinuous and equi-uniformly continuous functions. The generalized Cantor theorem. Completeness of L°(X,Y) e C°(X,Y). The Ascoli-Arzelà theorem and some applications. GENERALIZED SOLUTIONS OF 1-ORDER ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS IN NORMAL FORM: The notion of generalized solution. Caratheodory functions. Peano's theorem and Caratheodory's theorem. Holderian and Lipschitzian solutions. Hints on weak derivative and Sobolev spaces on intervals. Hints on some classes of integral equations. SET-VALUED ANALYSIS: Multifunctions. Lower and upper semicontinuity of a multifunction, and their characterizations. Continuous multifunctions and their characterizations. Multifunctions with closed graph. Image of a compact space and of a connected space. Selections of a multifunction. Michael's theorem. Extension of continuous selections and of continuous functions. The Hausdorff distance and its properties. Lipschitzian multifunctions. Lower semicontinuity, upper semicontinuity and continuity in metric sense. Fixed points. Nadler's theorem. Measurable multifunctions. Kuratowski and Ryll-Nardzewski's theorem. Castaing's representation.
	P. Cannarsa, T. D'Aprile, Introduzione alia teoria della misura e all'analisi funzionale, Springer-Verlag, Milano, 2008. V.I. Bogachev, Measure Theory, Vol. I, Springer, Berlin, 2007. E.A. Coddington, N. Levinson, Theory of Ordinary Differential Equations, McGraw-Hill, New York, 1955. J.K. Hale, Ordinary Differential Equations (2nd ed.), Robert E. Krieger Publishing Company, 1980. E. Klein, A.C. Thompson, Theory of Correspondences, John Wiley and Sons, New York, 1984. H. Brezis, Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations Springer, New York, 2011. LECTURE NOTES provided by the teacher.

	Knowledge of the basic elements of the theory of: set-valued analysis, bounded variation and absolutely continuous functions, generalized solutions of ordinary differential equations, integral equations. Acquisition of the related calculus skills
	Differential and integral calculus for functions of one or several variables, function sequences and series, general topology, metric spaces, measure and Lebesgue integration theory, normed space theory.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**OLIVERI FRANCESCO**	**Matricola: 009074**
Docente	**OLIVERI FRANCESCO, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002435 - SIMMETRIE DI LIE DI EQUAZIONI DIFFERENZIALI**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**PRIMO SEMESTRE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	ITALIANO
Contenuti	Gruppi continui di trasformazioni. Algebre di Lie. Algebre abeliane, risolvibili, semisemplici. Sottoalgebre di Lie. Gruppi di trasformazioni infinitesime. Operatori infinitesimi. Teoremi fondamentali di Lie. Equazioni di Lie. Invarianti, variabili canoniche. Teoria geometrica delle equazioni differenziali. Richiami di geometria differenziale. Varietà differenziabili. Spazio dei getti. Simmetrie di Lie di equazioni differenziali. Prolungamento dei gruppi di Lie. Algoritmo di Lie. Invarianti differenziali. Simmetrie di Lie ed equazioni differenziali ordinarie. Equazioni del primo ordine. Determinazione del fattore integrante. Equazioni differenziali di ordine superiore. Determinazione delle simmetrie. Struttura dell'algebra delle simmetrie. Abbassamento dell'ordine con le variabili canoniche e con gli invarianti differenziali. Esempi e applicazioni. Determinazione delle simmetrie di Lie per equazioni a derivate parziali. Condizioni di superficie invariante. Soluzioni invarianti. Esempi ed applicazioni (equazioni lineari e non lineari delle onde e del calore, equazioni di Eulero della gas-dinamica, equazioni della magnetofluidodinamica, equazioni di Burgers, Korteweg-deVries e generalizzazioni). Trasformazione di equazioni differenziali a derivate parziali in forma autonoma, lineare, in forma autonoma e quasilineare omogenea. Principali teoremi ed applicazioni. Simmetrie non classiche e condizionali: teoria ed applicazioni. Simmetrie variazionali: teorema di Noether. Trasformazioni di equivalenza. Software di calcolo simbolico per lo studio delle simmetrie di Lie di equazioni differenziali.
Testi di riferimento	1) G. W. Bluman, S. Kumei. Symmetries and differential equations. Springer, New York, 1989. 2) P. J. Olver. Applications of Lie groups to differential equations. Springer, New York, 1986. 3) F. Oliveri. Draft notes: Lie symmetries of differential equations.
Obiettivi formativi	Conoscenza della teoria dei gruppi di Lie di trasformazioni e della loro generalizzazione per lo studio di equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali. Conoscenza dell'uso di sistemi di calcolo scientifico simbolico.
Prerequisiti	Calcolo differenziale e integrale di funzioni di variabili reali, algebra lineare, strutture algebriche.

Metodi didattici	Lezioni teoriche ed esercitazioni con l'ausilio di strumenti simbolici e numerici di calcolo scientifico.
Modalità di verifica dell'apprendimento	Esame orale che prevede la discussione di una una tesina su argomenti assegnati dal docente e domande sugli argomenti sviluppati nel corso. La valutazione finale terrà conto del grado di preparazione raggiunto, della proprietà e correttezza del inguaggio.
Programma esteso	Gruppi continui di trasformazioni. Algebre di Lie. Algebre abeliane, risolvibili, semisemplici. Sottoalgebre di Lie. Gruppi di trasformazioni infinitesime. Operatori infinitesimi. Teoremi fondamentali di Lie. Equazioni di Lie. Invarianti, variabili canoniche. Teoria geometrica delle equazioni differenziali. Richiami di geometria differenziale. Varietà differenziabili. Spazio dei getti. Simmetrie di Lie di equazioni differenziali. Prolungamento dei gruppi di Lie. Algoritmo di Lie. Invarianti differenziali. Simmetrie di Lie ed equazioni differenziali ordinarie. Equazioni del primo ordine. Determinazione del fattore integrante. Equazioni differenziali di ordine superiore. Determinazione delle simmetrie. Struttura dell'algebra delle simmetrie. Abbassamento dell'ordine con le variabili canoniche e con gli invarianti differenziali. Esempi e applicazioni. Determinazione delle simmetrie di Lie per equazioni a derivate parziali. Condizioni di superficie invariante. Soluzioni invarianti. Esempi ed applicazioni (equazioni lineari e non lineari delle onde e del calore, equazioni di Eulero della gas-dinamica, equazioni della magnetofluidodinamica, equazioni di Burgers, Korteweg-deVries e generalizzazioni). Trasformazione di equazioni differenziali a derivate parziali in forma autonoma, lineare, in forma autonoma e quasilineare omogenea. Principali teoremi ed applicazioni. Simmetrie non classiche e condizionali: teoria ed applicazioni. Simmetrie variazionali: teorema di Noether. Trasformazioni di equivalenza. Software di calcolo simbolico per lo studio delle simmetrie di Lie di equazioni differenziali.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	Continuous groups of transformations. Lie algebras. Abelian, solvable, semisimple algebras. Lie subalgebras. Groups of infinitesimal transformations. Infinitesimal operators. Fundamental Lie theorems. Lie equations. Invariants, canonical variables. Geometric theory of differential equations. Elements of differential geometry of differential equations. Differentiable manifolds. Jet spaces. Lie symmetries of differential equations. Prolongation of Lie groups. Lie algorithm. Differential invariants. Lie symmetries and ordinary differential equations. First order equations. Determination of the integral factor. Higher order differential equations. Determination of symmetries. Structure of the algebra of symmetries. Lowering of the order with the canonical variables and with the differential invariants. Examples and applications. Determination of Lie symmetries for partial derivative equations. Invariant surface conditions. Invariant solutions. Examples and applications (linear and non-linear heat and wave equations, Euler equations of gas-dynamics, magnetofluid dynamics equations, Burgers equations, Korteweg-deVries and generalizations). Transformation of partial differential equations: autonomous, linear, autonomous and quasilinear homogeneous. Main theorems and applications. Non-classical and conditional symmetries: theory and applications. Variational symmetries: Noether theorem. Equivalence transformations. Use of

	computer algebra packages for symmetry analysis of differential equations.
	1) G. W. Bluman, S. Kumei. Symmetries and differential equations. Springer, New York, 1989. 2) P. J. Olver. Applications of Lie groups to differential equations. Springer, New York, 1986. 3) F. Oliveri. Draft notes: Lie symmetries of differential equations.
	Knowledge of the theory of Lie groups of transformations and of their generalizations for the study of ordinary and partial differential equations. Knowledge of the use of symbolic scientific computation tools.
	Differential and integral calculus of functions of real variables, linear algebra, algebraic structures.
	Theoretical lectures and exercitations with the aid of symbolic and numeric software tools.
	Oral exam that includes the discussion of a short essay on topics assigned by the teacher and questions on the topics developed in the course. The final evaluation will take into account the level of preparation achieved, the propriety and correctness of the language.
	Continuous groups of transformations. Lie algebras. Abelian, solvable, semisimple algebras. Lie subalgebras. Groups of infinitesimal transformations. Infinitesimal operators. Fundamental Lie theorems. Lie equations. Invariants, canonical variables. Geometric theory of differential equations. Elements of differential geometry of differential equations. Differentiable manifolds. Jet spaces. Lie symmetries of differential equations. Prolongation of Lie groups. Lie algorithm. Differential invariants. Lie symmetries and ordinary differential equations. First order equations. Determination of the integral factor. Higher order differential equations. Determination of symmetries. Structure of the algebra of symmetries. Lowering of the order with the canonical variables and with the differential invariants. Examples and applications. Determination of Lie symmetries for partial derivative equations. Invariant surface conditions. Invariant solutions. Examples and applications (linear and non-linear heat and wave equations, Euler equations of gas-dynamics, magnetofluid dynamics equations, Burgers equations, Korteweg-deVries and generalizations). Transformation of partial differential equations: autonomous, linear, autonomous and quasilinear homogeneous. Main theorems and applications. Non-classical and conditional symmetries: theory and applications. Variational symmetries: Noether theorem. Equivalence transformations. Use of computer algebra packages for symmetry analysis of differential equations.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**PALUMBO ANNUNZIATA**	**Matricola: 004822**
Docente	**PALUMBO ANNUNZIATA, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**6962 - TEORIE RELATIVISTICHE**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**SECONDO SEMESTRE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	ITALIANO
Contenuti	Assiomi generali della Fisica classica e dell'elettromagnetismo. Principio di relatività galileiana. Non-invarianza delle equazioni di Maxwell per trasformazioni di Galileo. I principi della relatività ristretta. Spazio metrico di Minkowski. Oggettività delle equazioni di Newton e di Maxwell per trasformazioni di Lorentz. Deduzione delle trasformazioni generali di Lorentz. Trasformazione di un vettore spaziale. Contrazione relativistica delle lunghezze. Dilatazione relativistica delle durate temporali. Eventi in successione temporale ed eventi quasi simultanei. Cono luce. Elementi di cinematica relativistica. Storia di una particella. Tempo proprio. Quadrivelocità e quadriaccelerazione di una particella. Teorema di addizione delle velocità. Formulazione relativistica dell'equazione fondamentale della dinamica di una particella. Formule di trasformazione delle componenti del quadriimpulso e della quadriforza. Equazioni di bilancio della dinamica relativistica dei continui. Potenziali elettromagnetici. Condizioni di Lorentz e trasformazioni di Gauge. Il quadritensore elettromagnetico nel vuoto. Quadriformulazione delle equazioni di Maxwell in M4. Derivazione delle leggi di trasformazione del quadritensore elettromagnetico, loro interprezione fisica e loro limite classico. Introduzione alla Relatività generale di Einstein. Equazioni gravitazionali di Einstein. La metrica quadridimensionale di Schwarzschild e il modello statico di Einstein. Le onde gravitazionali.
Testi di riferimento	1) F. Borghero, F. Demontis, Relatività per principianti Fondamenti di Relatività Ristretta e Generale con breve Compendio di Fisica Classica, UNICApress, 2021, Cagliari (https://doi.org/10.13125/unicapress.978-88-3312-031-7). 2) G. Crupi, Elementi di Teorie Relativistiche Einsteiniane, Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti, 1996, Messina 3) Lev D. Landau, Teoria dei campi. Editori Riuniti, first edition, 1947 4) A. Einstein, Relativity: The Special and General Theory, Henry HOLT and Company, 1920, New York 5) W. Pauli, TEORIA DELLA RELATIVITA', Editore Boringhieri, 1958, Torino
Obiettivi formativi	Fornire i concetti e le leggi fondamentali della teoria della Relatività ristretta e introdurre le idee di base della teoria della Relatività generale.

Prerequisiti	Conoscenza della Meccanica Newtoniana, delle strutture algebriche e dell’elettromagnetismo.
Metodi didattici	Le attività didattiche sono organizzate in lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna multimediale, con l’eventuale ausilio di presentazioni in power-point.
Modalità di verifica dell'apprendimento	L'esame finale consiste in una prova orale durante la quale sarà valutata la preparazione dell’allievo attraverso la conoscenza dettagliata dell’argomento, la capacità espositiva e la proprietà di linguaggio usato.
Programma esteso	Assiomi generali della Fisica classica e dell’elettromagnetismo. Principio di relatività galileiana. Non-invarianza delle equazioni di Maxwell per trasformazioni di Galileo. I principi della relatività ristretta. Spazio metrico di Minkowski. Oggettività delle equazioni di Newton e di Maxwell per trasformazioni di Lorentz. Deduzione delle trasformazioni generali di Lorentz. Trasformazione di un vettore spaziale. Contrazione relativistica delle lunghezze. Dilatazione relativistica delle durate temporali. Eventi in successione temporale ed eventi quasi simultanei. Cono luce. Elementi di cinematica relativistica. Storia di una particella. Tempo proprio. Quadrivelocità e quadriaccelerazione di una particella. Teorema di addizione delle velocità. Formulazione relativistica dell'equazione fondamentale della dinamica di una particella. Formule di trasformazione delle componenti del quadriimpulso e della quadriforza. Equazioni di bilancio della dinamica relativistica dei continui. Potenziali elettromagnetici. Condizioni di Lorentz e trasformazioni di Gauge. Il quadritensore elettromagnetico nel vuoto. Quadriformulazione delle equazioni di Maxwell in M4. Derivazione delle leggi di trasformazione del quadritensore elettromagnetico, loro interprezione fisica e loro limite classico. Introduzione alla Relatività generale di Einstein. Equazioni gravitazionali di Einstein. La metrica quadridimensionale di Schwarzschild e il modello statico di Einstein. Le onde gravitazionali.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	General axioms of classical physics and electromagnetism. Galilean relativity principle. Non-invariance of Maxwell's equations under Galileo transformations. The principles of special relativity. Minkowski metric space. Objectivity of Newton's and Maxwell's equations for Lorentz transformations. Derivation of the general Lorentz transformations. Transformation of a space vector. Relativistic length contraction. Relativistic time dilatation. Events in time succession and quasi-simultaneous events. The light cone of events in temporal succession. Elements of relativistic kinematics. History of a particle. Proper time. Four-velocity and four-acceleration of a particle. The velocity addition theorem. Relativistic formulation of the fundamental equation of the dynamics of a particle. Transformation formulas of the four-momentum and four-force components. Balance equations of relativistic dynamics of continua. Electromagnetic potentials. Lorentz conditions and Gauge transformations. The electromagnetic quadritensor in the vacuum. Quadriformulation of Maxwell's equations in M4. Derivation of the transformation laws of the electromagnetic quadritensor, their physical interpretation and their classical limit.

Introduction to Einstein's General Relativity. Einstein's gravitational equations. Schwarzschild four-dimensional metric and Einstein static model. Gravitational waves.

1) F. Borghero, F. Demontis, Relatività per principianti Fondamenti di Relatività Ristretta e Generale con breve Compendio di Fisica Classica, UNICApress, 2021, Cagliari (https://doi.org/10.13125/unicapress.978-88-3312-031-7).
2) G. Crupi, Elementi di Teorie Relativistiche Einsteiniane, Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti, 1996, Messina
3) Lev D. Landau, Teoria dei campi. Editori Riuniti, first edition, 1947
4) A. Einstein, Relativity: The Special and General Theory, Henry HOLT and Company, 1920, New York
5) W. Pauli, TEORIA DELLA RELATIVITA', Editore Boringhieri, 1958, Torino

Provide the basic concepts and laws of the special theory of Relativity and introduce the basic ideas of the general theory of Relativity.

Knowledge of Newtonian Mechanics, algebraic structures and electromagnetism.

The teaching activities are organized in theoretical and practical lessons at the videowall, any teaching aids as power-point presentations are used.

The final exam consists of an oral test during which the student's preparation will be assessed through detailed knowledge of the topic, ability to expository and property of language used.

General axioms of classical physics and electromagnetism.
Galilean relativity principle. Non-invariance of Maxwell's equations under Galileo transformations. The principles of special relativity. Minkowski metric space. Objectivity of Newton's and Maxwell's equations for Lorentz transformations. Derivation of the general Lorentz transformations. Transformation of a space vector. Relativistic length contraction. Relativistic time dilatation. Events in time succession and quasi-simultaneous events. The light cone of events in temporal succession. Elements of relativistic kinematics. History of a particle. Proper time. Four-velocity and four-acceleration of a particle. The velocity addition theorem. Relativistic formulation of the fundamental equation of the dynamics of a particle. Transformation formulas of the four-momentum and four-force components. Balance equations of relativistic dynamics of continua.
Electromagnetic potentials. Lorentz conditions and Gauge transformations. The electromagnetic quadritensor in the vacuum. Quadriformulation of Maxwell's equations in M4. Derivation of the transformation laws of the electromagnetic quadritensor, their physical interpretation and their classical limit.
Introduction to Einstein's General Relativity. Einstein's gravitational equations. Schwarzschild four-dimensional metric and Einstein static model. Gravitational waves.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**FAZIO RICCARDO**	**Matricola: 009112**

Docente	**FAZIO RICCARDO, 6 CFU**

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002703 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI ORDINARIE**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**PRIMO SEMESTRE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	ITALIANO
Contenuti	Formula di Taylor e metodi numerici. Metodi di Taylor, Runge-Kutta e multi-passo. Metodi espliciti e metodi impliciti. Consistenza, convergenza e stabilita' dei metodi numerici. Teoremi di equivalenza. Problemi conservativi, metodi conservativi e simplettici. Controllo dell'errore e metodi adattivi. Applicazioni di OCTAVE all'economia e alla finanza. Metodo alle differenze finite esplicito per le opzioni put di tipo Americano. Stimatore dell'errore con l'estrapolazione di Richardson.
Testi di riferimento	R. Fazio, Metodi Numerici per Problemi ai Valori Iniziali, TGBook Ed., Sandrigo, 2014. R. Fazio, OCTAVE per l'Economia e la Finanza. TGBook Ed., Sandrigo, 2020.
Obiettivi formativi	Conoscenza di metodi numerici per la risoluzione di equazioni alle derivate ordinarie e loro implementazione in ambienti di calcolo scientifico. Abilità nello sviluppare un’accurata analisi critica dei risultati.
Prerequisiti	Calcolo differenziale: equazioni differenziali e loro soluzioni, formula di Taylor con il resto di Lagrange.
Metodi didattici	Lezioni di didattica frontale. Laboratorio presso i locali del MITF.
Modalità di verifica dell'apprendimento	Esami orali. In tale contesto verranno valutati: grado di preparazione raggiunto, proprietà di linguaggio rispetto agli argomenti trattati e capacità espositiva.
Programma esteso	Formula di Taylor e metodi numerici. Metodi di Taylor, Runge-Kutta e multi-passo. Metodi espliciti e metodi impliciti. Consistenza, convergenza e stabilita' dei metodi numerici. Teoremi di equivalenza. Problemi conservativi, metodi conservativi e simplettici. Controllo dell'errore locale e metodi adattivi. Applicazioni di OCTAVE all'economia e alla finanza: Metodo alle differenze finite esplicito per le opzioni put di tipo Americano. Stimatore dell'errore con l'estrapolazione di Richardson.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	Taylor formula and numerical methods. Taylor, Runge-Kutta and multi-step methods. Explicit and implicit methods. Considtency, stability and convergence of numerical methods. Equivalence Theorem. Conservative problems, conservative and symplettic methods. Local error control and adaptive methods. Application of OCTAVE in finance: Explicit Finite difference method for the American put option problem. Error estimator via Richardson etrapolation.
	R. Fazio, Metodi Numerici per Problemi ai Valori Iniziali, TGBook Ed., Sandrigo, 2014. R. Fazio, OCTAVE per l'Economia e la Finanza. TGBook Ed., Sandrigo, 2020.
	Knowledge of numerical methods for solving ordinary differential equations and their implementation in scientific computing environments. Ability to develop an accurate critical analysis of the results.
	Differential calculus: differential equations and their solutions, Taylor's formula with Lagrange remainder.
	Frontal Lessons. Numerical exercitations on the MITF laboratory.
	Oral examinations. In this contest they will be verifyed the student capacity to understand and expose the program topis appropriately.
	Taylor formula and numerical methods. Taylor, Runge-Kutta and multi-step methods. Explicit and implicit methods. Considtency, stability and convergence of numerical methods. Equivalence Theorem. Conservative problems, conservative and symplettic methods. Local error control and adaptive methods. Application of OCTAVE in finance: Explicit Finite difference method for the American put option problem. Error estimator via Richardson etrapolation.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**RINALDO GIANCARLO**	**Matricola: 010152**
Docente	**RINALDO GIANCARLO, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**30 - ALGEBRA COMPUTAZIONALE**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**SECONDO SEMESTRE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	ITALIANO
Contenuti	Quozienti di Z e il cerchio finito Zn. Funzioni esponenziali complesse su Zn. I caratteri di Zn. La trasformata discreta di Fourier. Applicazioni. Nozioni fondamentali sui campi finiti e le loro estensioni. Il campo di spezzamento di un polinomio su un campo finito. Elementi primitivi di un campo finito e l'LFSR (Linear Feedback Shift Register). Automorfismi di campi. Traccia e norma. Applicazioni alla crittografia simmetrica. Anello dei polinomi su un campo. Ideali iniziali. Basi di Groebner. Il problema dell'appartenenza ad un ideale. Teoria della eliminazione e applicazioni. Varietà affini. Relazioni con gli ideali. Risultante. Teorema di estensione. Nullstellensatz in forma debole e forte. Serie formali. Moduli graduati. Successioni esatte corte. La serie di Hilbert. Lemma di Macaulay ed ideali iniziali. Un algoritmo per il calcolo della serie di Hilbert.
Testi di riferimento	Lindsay N. Childs, A Concrete Introduction to Higher Algebra, Springer. Audrey Terras, Fourier Analysis on Finite Groups and Applications, 1999, London Mathematical Society Student Texts. R.Lidl, H. Niederreiter, Finite Fields, Cambridge University Press, 2009. D. A. Cox , J. Little, D. O'Shea, Ideals, Varieties, and Algorithms, Fourth edition, Springer, 2015.
Obiettivi formativi	Padronanza degli algoritmi utilizzati nel campo dell'algebra applicata, in particolare nella crittografia algebrica e nella risoluzione di sistemi di equazioni polinomiali sui campi finiti.
Prerequisiti	Concetti fondamentali di algebra, geometria e analisi e conoscenza di un linguaggio di programmazione.
Metodi didattici	Lezioni frontali e laboratoriali. Utilizzo di un linguaggio di programmazione per il calcolo simbolico.
Modalità di verifica dell'apprendimento	L'esame consiste di uno dei due metodi alternativi: 1) Esame orale; 2) Valutazioni in itinere più progetto. 1) Esame orale. L'esame orale prevede esercizi e domande teoriche su argomenti presentati durante il corso. La prova orale si intende superata se si raggiungono almeno 18/30. 2) Valutazioni in itinere più progetto finale. Le valutazioni in itinere

	settimanali (una per settimana e di circa 45 minuti) prevedono esercizi ed implementazioni relative agli argomenti trattati. Per la risoluzione si possono consultare gli appunti delle lezioni. Grazie alle valutazioni in itinere si potranno ottenere al massimo 27/30. Tale punteggio si otterrà dalla somma delle singole valutazioni in itinere. A tale punteggio si aggiunge quello del progetto finale che verrà valutato al massimo 3/30. Il progetto finale è scelto dallo studente in accordo col docente su tematiche trattate durante il corso. L'esame si intende superato se lo studente consegue tra prove in itinere e seminario un voto di almeno 18/30.
Programma esteso	Quozienti di Z e il cerchio finito Zn. Funzioni esponenziali complesse su Zn. I caratteri di Zn. La trasformata discreta di Fourier. Applicazioni. Nozioni fondamentali sui campi finiti e le loro estensioni. Il campo di spezzamento di un polinomio su un campo finito. Elementi primitivi di un campo finito e l'LFSR (Linear Feedback Shift Register). Automorfismi di campi. Traccia e norma. Applicazioni alla crittografia simmetrica. Anello dei polinomi su un campo. Ideali iniziali. Basi di Groebner. Il problema dell'appartenenza ad un ideale. Teoria della eliminazione e applicazioni. Varietà affini. Relazioni con gli ideali. Risultante. Teorema di estensione. Nullstellensatz in forma debole e forte. Serie formali. Moduli graduati. Successioni esatte corte. La serie di Hilbert. Lemma di Macaulay ed ideali iniziali. Un algoritmo per il calcolo della serie di Hilbert.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	Quotients of Z and the finite circle Zn. Complex exponential functions over Zn. The characters of Zn. The discrete Fourier transform. Applications. Basic facts about finite fields and their extensions. The splitting field of a polynomial over a finite field. Primitive elements of a finite field and the LFSR (Linear Feedback Shift Register). Field automorphism. Trace and norm. Applications to symmetric cryptography. Polynomial ring over a field. Initial ideals. Groebner bases. Ideal membership problem. Elimination theory and applications. Affine varieties. Relation with ideals. Resultant.Extension theorem. Weak and strong Nullstellensatz. Formal series. Graded modules. Short exact sequences. The Hilbert series. Macaulay Lemma and the initial ideal. An algorithm for the computation of Hilbert series. Applications in combinatorics.
	Lindsay N. Childs, A Concrete Introduction to Higher Algebra, Springer. Audrey Terras, Fourier Analysis on Finite Groups and Applications, 1999, London Mathematical Society Student Texts. R.Lidl, H. Niederreiter, Finite Fields, Cambridge University Press, 2009. D. A. Cox , J. Little, D. O'Shea, Ideals, Varieties, and Algorithms, Fourth edition, Springer, 2015.
	Mastering the algorithms used in the field of applied algebra, in particular in algebraic cryptography and in the resolution of systems of equations of polynomials over a finite field.
	Basic concepts of algebra, geometry and calculus and knowledge of a programming language.

	Frontal lectures and workshops. Usage of a programming language for symbolic computation.
	The exam consists of the two following and alternative methods: 1) Oral exam; 2) In-itinere evaluations and project. 1) Oral exam. The oral exam consists of exercises and theory questions presented during the course. The exam is passed if the final grade is equal to or greater than 18/30. 2) In-itinere evaluations and project. There are weekly evaluations (one for week around 45 minutes each) consisting of exercises and implementations about subjects considered during the week. To solve the test it is possible to check the notes of the lectures. Thanks to the evaluations the student obtains a grade of at most 27/30. This grade is obtained by adding each weekly evaluation. To this grade is added the evaluation of the final project whose grade is at most 3/30. The final project is chosen from the student in agreement with the professor about the topics of the course. The exam is passed if the student obtains, summing the in-itinere evaluations and seminar, a grade that is equal to or greater than 18/30.
	Quotients of Z and the finite circle Zn. Complex exponential functions over Zn. The characters of Zn. The discrete Fourier transform. Applications. Basic facts about finite fields and their extensions. The splitting field of a polynomial over a finite field. Primitive elements of a finite field and the LFSR (Linear Feedback Shift Register). Field automorphism. Trace and norm. Applications to symmetric cryptography. Polynomial ring over a field. Initial ideals. Groebner bases. Ideal membership problem. Elimination theory and applications. Affine varieties. Relation with ideals. Resultant.Extension theorem. Weak and strong Nullstellensatz. Formal series. Graded modules. Short exact sequences. The Hilbert series. Macaulay Lemma and the initial ideal. An algorithm for the computation of Hilbert series. Applications in combinatorics.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**TRIPODI ANTOINETTE**	**Matricola: 010168**
Docente	**TRIPODI ANTOINETTE, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**2882 - GEOMETRIA COMBINATORIA**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**PRIMO SEMESTRE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	ITALIANO
Contenuti	SPAZI GEOMETRICI. Definizione di spazio geometrico. Isomorfismi tra spazi geometrici. Gruppo strutturale di uno spazio geometrico. Spazi geometrici composti. Spazi geometrici equivalenti. SPAZI PROIETTIVI E AFFINI. Spazi vettoriali su un campo K. Isomorfismi geometrici tra spazi vettoriali e loro caratterizzazione. Spazi proiettivi. Isomorfismi tra spazi proiettivi e loro caratterizzazione. Lo spazio proiettivo numerico di dimensione r su K, P(r, K). Gruppo delle collineazioni e gruppo delle proiettività di P(r, K). Costruzione dello spazio affine A(r, K) a partire da P(r, K). Gruppo delle collineazioni e gruppo delle affinità di A(r, K). SPAZI DI GALOIS. Spazi PG(r,q) e AG(r,q). Numero di punti di un sottospazio d-dimensionale di PG(r,q) (o AG(r,q)). Numero di sottospazi d-dimensionali di PG(r,q) (o AG(r,q)). Numero di sottospazi k-dimensionali di PG(r,q) (o AG(r,q)) passanti per un fissato sottospazio h-dimensionale di PG(r,q) (rispettivamente, AG(r,q)). DISEGNI COMBINATORI. Definizioni. Piani proiettivi e piani affini di ordine n. Contrazione ed estensione di un disegno. Condizioni necessarie per l’esistenza di un disegno. Matrice di incidenza di un disegno. Diseguaglianza di Fisher. Residuo di un disegno. Complementare di un disegno. Disegno duale. Composizione di disegni. METODO DELLE DIFFERENZE. Insiemi di differenze e famiglie di differenze. Teorema di Paley. Famiglie di differenze relative. Famiglie di differenze miste. Costruzione di Bose. DISEGNI SIMMETRICI. Disegni simmetrici e loro caratterizzazione. Problema dell'esistenza di un piano proiettivo di ordine n: teorema di Bruck-Ryser-Chowla e corollari. QUADRATI LATINI. Definizioni. Sistemi completi di quadrati latini mutualmente ortogonali (MOLS). MOLS e piani finiti. SISTEMI DI STEINER. Sistemi di terne di Steiner (STS). Costruzioni. Condizioni necessarie e sufficienti per l'esistenza di un STS. G-DISEGNI. Cenni sui grafi e G-decomposizioni del grafo completo.
Testi di riferimento	- Giuseppe Tallini, Lezioni di Geometria Combinatoria, Pitagora - Francesco Mazzocca, Note di geometria combinatoria, Ilmiolibro self publishing - M. Gionfriddo, L. Milazzo, V. Voloshin, Hypergraphs and Designs, Nova Science Publishers - Dispense fornite dal docente

Obiettivi formativi	Acquisizione dei metodi e delle tecniche della geometria combinatoria attraverso lo studio di strutture finite.
Prerequisiti	Conoscenze di base di teoria dei gruppi, teoria dei campi, algebra lineare e geometria analitica.
Metodi didattici	Lezioni frontali ed esercizi. Le attività saranno svolte con il supporto di slide.
Altre informazioni	
Modalità di verifica dell'apprendimento	Esame orale che consiste in domande relative alle teorie presentate durante le lezioni ed è volto ad accertare il raggiungimento degli obiettivi del corso e la capacità di esporre gli argomenti mediante l'uso di un linguaggio appropriato.
Programma esteso	

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	GEOMETRIC SPACES. Definition of geometric space. Isomorphisms between geometric spaces. Structural group of a geometric space. Compound geometric spaces. Equivalent geometric spaces. PROJECTIVE AND AFFINE SPACES. Vector spaces over a field K. Geometric isomorphisms between vector spaces and their characterization. Projective spaces. Isomorphisms between projective spaces and their characterization. The r-dimensional coordinate projective space over K, P(r, K). Collineation group and projectivity group of P(r, K). Construction of the affine space A(r, K) from P(r, K). Collineation group and affinity group of A(r, K). GALOIS SPACES. Spaces PG(r,q) e AG(r,q). Number of points of a d-dimensional subspace of PG(r,q) (AG(r,q)). Number of d-dimensional subspaces of PG(r,q) (AG(r,q)); number of k-dimensional subspaces of PG(r,q) (AG(r,q)) containing a fixed h-dimensional subspace of PG(r,q) (respectively, AG(r,q)). COMBINATORIAL DESIGNS. Definitions. Projective and affine planes of order n. Contraction and extension of a design. Necessary conditions for the existence of a design. Incidence matrix of a design. Fisher inequality. Residual design. Complementary design. Dual design. Composition of designs. DIFFERENCE METHOD. Difference sets and difference families. Paley Theorem. Relative difference families. Mixed difference families. Bose construction. SYMMETRIC DESIGNS. Symmetric designs and their characterization.

	Existence problem for a projective plane of order n: Bruck-Ryser-Chowla theorems and corollaries. LATIN SQUARES. Definitions. Complete sets of mutually orthogonal latin square (MOLS). MOLS and finite planes. STEINER SYSTEMS. Steiner triple systems (STS). Constructions. Necessary and sufficient conditions for the existence of an STS. G-DESIGNS. Outline on graphs and G-decompositions of the complete graph.
	- Giuseppe Tallini, Lezioni di Geometria Combinatoria, Pitagora - Francesco Mazzocca, Note di geometria combinatoria, Ilmiolibro self publishing - M. Gionfriddo, L. Milazzo, V. Voloshin, Hypergraphs and Designs, Nova Science Publishers - Lectures note provided by the teacher
	Acquiring methods and techniques of combinatorial geometry through the study of finite structures.
	Basic knowledge of group theory, field theory, linear algebra and analytic geometry.
	Lectures and classroom exercises. The activities will be carried out with the support of slides.
	Oral exam consisting of questions on the theories presented during the lectures and aimed at assessing the achievement of the objectives of the course and the ability to present the topics with an appropriate language.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	ANELLO GIOVANNI	Matricola: 010028

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002704 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**12**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	Italiano
Contenuti	-- Modulo: A002705 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. A -- Integrazione in uno spazio di misura: integrale delle funzioni elementari, integrale delle funzioni misurabili e non negative, teorema di Beppo Levi, funzioni µ-quasi-integrabili e loro integrale, funzioni µ-integrabili, proprietà verificate µ-quasi-ovunque, integrale delle funzioni definite µ-quasi-ovunque. Integrazione rispetto ad una misura prodotto: prodotto di σ-algebre, prodotto di misure σ-finite, teorema di Tonelli, teorema di Fubini, teoremi di Tonelli e di Fubini per la misura di Lebesgue m_p+q. Gli spazi L^p: funzioni numeriche µ-integrabili con l'esponente p, disuguaglianze di Hölder e di Minkowski, spazio semimetrico L^p (0< p <+∞), spazio L^∞, completezza di L^∞, inclusioni tra spazi L^p, disuguaglianze di Clarkson, duale topologico degli spazi L^p per 1≤p≤∞, riflessività degli spazi L^p per 1≤p≤∞, separabilità degli spazi L^p per 1≤p≤∞. Vari modi di convergenza delle successioni di funzioni reali misurabili: lemma di Fatou, convergenza µ-quasi-ovunque, convergenza in media di ordine p, teorema della convergenza dominata, completezza di L^p (0< p <+∞), convergenza µ-quasi-uniforme, teorema di Severini- Egorov, convergenza in misura, criterio di Weyl- Riesz per la convergenza in misura. Misure con densità: misure con segno munite di densità rispetto ad una misura µ, misure con segno assolutamente continue rispetto ad una misura µ, assoluta continuità nel senso di Vitali e nel senso di Caccioppoli, teorema di Radon-Nykodym. Il teorema di Vitali: equi-assoluta continuità secondo Vitali e secondo Caccioppoli, teorema di Vitali sulla convergenza in media di ordine p. -- Modulo: A002706 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. B -- Richiami di Analisi Complessa. Trasformata di Fourier: La trasformata di Fourier di una funzione sommabile. Uniforme continuità della trasformata di Fourier. Teorema di Riemann-Lebesgue. Proprietà della trasformata di Fourier. Trasformata di Fourier e derivazione. Convoluzione. Formula di moltiplicazione. Teoremi di inversione. Identità di Parseval. Trasformata di Laplace: Trasformabilità e assoluta trasformabilità secondo Laplace in un punto di funzioni localmente sommabili. Definizione di trasformata di Laplace in un punto. Proprietà della trasformata di Laplace. Olomorfia della trasformata di Laplace. Teorema sulla convoluzione e sue conseguenze. Comportamento all'infinito della trasformata di Laplace. Il

	problema dell’antitrasformazione. Applicazioni della trasformata di Laplace alle equazioni ed ai sistemi di equazioni differenziali lineari ordinarie. Distribuzioni: Lo spazio D delle funzioni test. Lo spazio S di spazio E. Immersione di D in S e di D in E. Densità di D in E. Lo spazio D' delle distribuzioni. Distribuzioni funzione. Il delta di Dirac. Convergenza nel senso delle distribuzioni. Distribuzioni misura. Derivata di una distribuzione. Distribuzioni temperate. Il duale E' dello spazio E. Convoluzione tra distribuzioni. La trasformata di Fourier di una distribuzione temperata.
Testi di riferimento	-- Modulo: A002705 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. A -- -Alberto Tesei, Istituzioni di analisi superiore, Bollati Boringhieri, 1997 -Haim Brezis, Analisi funzionale, Liguori Editore, 1986 -- Modulo: A002706 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. B -- G. Di Fazio, M. Frasca, Metodi Matematici per l’Ingegneria, Monduzzi Editore.
Obiettivi formativi	Conoscenza di elementi di teoria astratta dell’integrazione e studio degli spazi Lp. Conoscenza delle trasformate di Fourier e di Laplace e delle loro principali proprietà e applicazioni. Distribuzioni e calcolo della trasformata di Fourier di una distribuzione temperata.
Prerequisiti	Successioni e serie di funzioni, elementi di topologia generale, teoria della misura di Lebesgue, elementi di base della teoria astratta della misura e teoria degli spazi normati. Calcolo differenziale e integrale per funzioni reali di una o più variabili reali, successioni e serie di funzioni, campo dei numeri complessi, misura di Lebesgue.
Metodi didattici	Lezioni frontali ed esercitazioni.
Modalità di verifica dell'apprendimento	La verifica dell'apprendimento consiste in una prova orale finale che terrà conto dell'esito di una prova orale in itinere relativa al modulo A. Per la valutazione saranno considerati i seguenti elementi: padronanza dei contenuti e degli strumenti di calcolo, chiarezza e rigore nell'esposizione, capacità di applicazione delle conoscenze acquisite.
Programma esteso	-- Modulo: A002705 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. A -- Integrazione in uno spazio di misura: integrale delle funzioni elementari, integrale delle funzioni misurabili e non negative, teorema di Beppo Levi, funzioni μ-quasi-integrabili e loro integrale, funzioni μ-integrabili, proprietà verificate μ-quasi-ovunque, integrale delle funzioni definite μ-quasi-ovunque. Integrazione rispetto ad una misura prodotto: prodotto di σ-algebre, prodotto di misure σ-finite, teorema di Tonelli, teorema di Fubini, teoremi di Tonelli e di Fubini per la misura di Lebesgue m_p+q. Gli spazi L^p: funzioni numeriche μ-integrabili con l’esponente p, disuguaglianze di Hölder e di Minkowski, spazio semimetrico L^p (0< p <+∞), spazio L^∞, completezza di L^∞, inclusioni tra spazi L^p, disuguaglianze di Clarkson, duale topologico degli spazi L^p per 1≤p≤∞, riflessività degli spazi L^p per 1≤p≤∞, separabilità degli spazi L^p per 1≤p≤∞. Vari modi di convergenza delle successioni di funzioni reali misurabili: lemma di Fatou, convergenza μ-quasi-ovunque, convergenza in media di ordine p, teorema della convergenza dominata, completezza di L^p (0< p <+∞), convergenza μ-quasi-uniforme, teorema di Severini- Egorov, convergenza in misura, criterio di Weyl- Riesz per la convergenza in misura. Misure con densità: misure con segno munite di densità rispetto ad una misura μ, misure con segno assolutamente continue rispetto ad una misura μ, assoluta continuità nel senso di Vitali e nel senso di Caccioppoli, teorema di Radon-Nykodym. Il teorema di Vitali: equi-assoluta continuità secondo Vitali e secondo Caccioppoli, teorema di Vitali sulla Testi in inglese Italian convergenza in media di ordine p. -- Modulo: A002706 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. B

-- Richiami di Analisi Complessa. Trasformata di Fourier: La trasformata di Fourier di una funzione sommabile. Uniforme continuità della trasformata di Fourier. Teorema di Riemann-Lebesgue. Proprietà della trasformata di Fourier. Trasformata di Fourier e derivazione. Convoluzione. Formula di moltiplicazione. Teoremi di inversione. Identità di Parseval. Trasformata di Laplace: Trasformabilità e assoluta trasformabilità secondo Laplace in un punto di funzioni localmente sommabili. Definizione di trasformata di Laplace in un punto. Proprietà della trasformata di Laplace. Olomorfia della trasformata di Laplace. Teorema sulla convoluzione e sue conseguenze. Comportamento all'infinito della trasfromata di Laplace. Il problema dell’antitrasformazione. Applicazioni della trasformata di Laplace alle equazioni ed ai sistemi di equazioni differenziali lineari ordinarie. Distribuzioni: Lo spazio D delle funzioni test. Lo spazio S di Schwartz. Lo spazio E. Immersione di D in S e di D in E. Densità di D in E. Lo spazio D' delle distribuzioni. Distribuzioni funzione. Il delta di Dirac. Convergenza nel senso delle distribuzioni. Distribuzioni misura. Derivata di una distribuzione. Distribuzioni temperate. Il duale E' dello spazio E. Convoluzione tra distribuzioni. La trasformata di Fourier di una distribuzione temperata.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	-- Modulo: A002705 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. A -- Integration in a measure space: integral of the elementary functions, integral of measurable and non-negative functions, Beppo Levi's theorem, μ- quasi-integrable functions and their integral, μ-integrable functions, properties verified μ-almosteverywhere, integral of the functions defined μ- almost-everywhere. Integration with respect to a product measure: product of σ-algebras, product of σ-finite measures, Tonelli's theorem, Fubini's theorem, Tonelli and Fubini's theorems for the Lebesgue measure m_p+q. L^p spaces: numeric functions μ-integrable with the exponent p, Hölder and Minkowski inequalities, semimetric space L^p (0 <p><+ ∞), L^∞, completeness of L^∞, inclusions between L^p spaces, Clarkson inequalities, topological dual of L^p spaces for 1≤p≤∞, reflexivity of L^p spaces for 1≤p≤∞, separability of L^p space for 1≤p≤∞. Various type of convergence of the sequences of measurable real functions: Fatou's lemma, μ- almost-everywhere convergence, convergence in the p-th mean, dominated convergence theorem, completeness of L^p (0</p><p><+ ∞), μ-quasi-uniform convergence, Severini-Egorov theorem, convergence in measure, Weyl-Riesz criterion for convergence in measure. Measure with a density: absolutely continuous signed measure with respect to a measure μ, absolute continuity in the sense of Vitali and in the sense of Caccioppoli, Radon-Nykodym theorem. The Vitali theorem: equi-absolute continuity according to Vitali and according to Caccioppoli, Vitali's theorem on p-th mean convergence. -- Modulo: A002706 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. B -- Outline of Complex Analysis. Fourier Transform: Fourier transform of a summable function. Uniform continuity of the Fourier transform. The Riemann- Lebesgue theorem. Properties of the Fourier transform. Convolution. Fourier transform e differentiation. Multiplication formula. Inversion theorems. Parseval identity. Laplace Transform: Laplace transformability e absolute

trasformability of locally summable functions. Definition of Laplace transform. Proprieties of the Laplace transform. Holomorphy of the Laplace transform. Convolution theorem and its consequences. Behaviour at infinity of the Laplace transform. The antitransformation problem. Application of the Laplace transform to linear ordinary differential equations and systems. Distributions: The space D of test functions. The Schwartz space S. The space E. Embeddings of D in S and S in E. Density of D in E. The space of distributions D'. Function distributions. The Dirac distribution Î´. Convergence in the distributional sense. Measure distributions. Differentiation of distributions. The space S' of temperate distributions. The dual space E' of the space E. Convolution of two distributions. The Fourier transform of a temperate distribution.</p>

-- Modulo: A002705 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. A --- -Alberto Tesei, Istituzioni di analisi superiore, Bollati Boringhieri, 1997 -Haim Brezis, Analisi funzionale, Liguori Editore, 1986 -- Modulo: A002706 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. B --- G. Di Fazio, M. Frasca, Metodi Matematici per l’Ingegneria, Monduzzi Editore.

Knowledge of elements of abstract integration theory and theory of Lp spaces.
Knowledge of Fourier and Laplace transforms and their relative properties and applications. Knowledge of Fourier Transform of a temperate distribution.

Sequences and series of functions, elements of general topology, Lebesgue measure theory, basic elements of abstract measure theory and normed spaces theory.
Differential and integral calculus, sequences and series of functions, the field of complex numbers, Lebesgue measure.

Lectures and tutorials

The verification of learning consists in a final oral test which will take into account of the outcome of an ongoing oral test related to module A. The following items will be considered for the assessment: the mastery of content and calculation tools, the clarity and accuracy of the exposition, the ability to apply knowledge and understanding.

-- Modulo: A002705 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. A --- Integration in a measure space: integral of the elementary functions, integral of measurable and non-negative functions, Beppo Levi's theorem, μ- quasi-integrable functions and their integral, μ-integrable functions, properties verified μ-almosteverywhere, integral of the functions defined μ- almost-everywhere. Integration with respect to a product measure: product of σ-algebras, product of σ-finite measures, Tonelli's theorem, Fubini's theorem, Tonelli and Fubini's theorems for the Lebesgue measure m_p+q. L^p spaces: numeric functions μ-integrable with the exponent p, Hölder and Minkowski inequalities, semimetric space L^p (0 <p><+ ∞), L^∞, completeness of L^∞, inclusions between L^p spaces, Clarkson inequalities, topological dual of L^p spaces for 1≤p≤∞, reflexivity of L^p spaces for 1≤p≤∞, separability of L^p space for 1≤p≤∞. Various type of convergence of the sequences of measurable real functions: Fatou's lemma, μ- almost-everywhere convergence, convergence in the p-th mean, dominated convergence theorem, completeness of L^p (0</p><p><+ ∞), μ-quasi-uniform convergence, Severini-Egorov theorem, convergence in measure, Weyl-Riesz criterion for convergence in measure. Measure with a density: absolutely continuous signed measure with respect to a measure μ, absolute continuity in the sense of Vitali and in the sense of Caccioppoli, Radon-Nykodym theorem. The Vitali theorem: equi-absolute continuity according to Vitali and according to Caccioppoli, Vitali's theorem on p-th mean convergence. -- Modulo: A002706 -

ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. B --- Outline of Complex Analysis. Fourier Transform: Fourier transform of a summable function. Uniform continuity of the Fourier transform. The Riemann- Lebesgue theorem. Properties of the Fourier transform. Convolution. Fourier transform e differentiation. Multiplication formula. Inversion theorems. Parseval identity. Laplace Transform: Laplace transformability e absolute trasformability of locally summable functions. Definition of Laplace transform. Proprieties of the Laplace transform. Holomorphy of the Laplace transform. Convolution theorem and its consequences. Behaviour at infinity of the Laplace transform. The antitransformation problem. Application of the Laplace transform to linear ordinary differential equations and systems. Distributions: The space D of test functions. The Schwartz space S. The space E. Embeddings of D in S and S in E. Density of D in E. The space of distributions D'. Function distributions. The Dirac distribution Î´. Convergence in the distributional sense. Measure distributions. Differentiation of distributions. The space S' of temperate distributions. The dual space E' of the space E. Convolution of two distributions. The Fourier transform of a temperate distribution.</p>

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**CAMMAROTO FILIPPO**	**Matricola: 019572**
Docente	**CAMMAROTO FILIPPO, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002705 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. A**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	Integrazione in uno spazio di misura: integrale delle funzioni elementari, integrale delle funzioni misurabili e non negative, teorema di Beppo Levi, funzioni μ-quasi-integrabili e loro integrale, funzioni μ-integrabili, proprietà verificate μ-quasi-ovunque, integrale delle funzioni definite μ-quasi-ovunque. Integrazione rispetto ad una misura prodotto: prodotto di σ-algebre, prodotto di misure σ-finite, teorema di Tonelli, teorema di Fubini, teoremi di Tonelli e di Fubini per la misura di Lebesgue m_p+q. Gli spazi L^p: funzioni numeriche μ-integrabili con l'esponente p, disuguaglianze di Hölder e di Minkowski, spazio semimetrico L^p (0< p <+∞), spazio L^∞, completezza di L^∞, inclusioni tra spazi L^p, disuguaglianze di Clarkson, duale topologico degli spazi L^p per 1≤p≤∞, riflessività degli spazi L^p per 1≤p≤∞, separabilità degli spazi L^p per 1≤p≤∞. Vari modi di convergenza delle successioni di funzioni reali misurabili: lemma di Fatou, convergenza μ-quasi-ovunque, convergenza in media di ordine p, teorema della convergenza dominata, completezza di L^p (0< p <+∞), convergenza μ-quasi-uniforme, teorema di Severini-Egorov, convergenza in misura, criterio di Weyl-Riesz per la convergenza in misura. Misure con densità: misure con segno munite di densità rispetto ad una misura μ, misure con segno assolutamente continue rispetto ad una misura μ, assoluta continuità nel senso di Vitali e nel senso di Caccioppoli, teorema di Radon-Nykodym. Il teorema di Vitali: equi-assoluta continuità secondo Vitali e secondo Caccioppoli, teorema di Vitali sulla convergenza in media di ordine p.
Testi di riferimento	-Alberto Tesei, Istituzioni di analisi superiore, Bollati Boringhieri, 1997 -Haim Brezis, Analisi funzionale, Liguori Editore, 1986
Obiettivi formativi	Conoscenza di elementi di teoria astratta dell'integrazione e studio degli spazi Lp.
Prerequisiti	Successioni e serie di funzioni, elementi di topologia generale, teoria della misura di Lebesgue, elementi di base della teoria astratta della misura e teoria degli spazi normati.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Integration in a measure space: integral of the elementary functions, integral of measurable and non-negative functions, Beppo Levi's theorem, μ-quasi-integrable functions and their integral, μ-integrable functions, properties verified μ-almost-everywhere, integral of the functions defined μ-almost-everywhere. Integration with respect to a product measure: product of σ-algebras, product of σ-finite measures, Tonelli's theorem, Fubini's theorem, Tonelli and Fubini's theorems for the Lebesgue measure m_p+q. L^p spaces: numeric functions μ-integrable with the exponent p, Hölder and Minkowski inequalities, semimetric space L^p (0 <+ ∞), L^∞, completeness of L^∞, inclusions between L^p spaces, Clarkson inequalities, topological dual of L^p spaces for 1≤p≤∞, reflexivity of L^p spaces for 1≤p≤∞, separability of L^p space for 1≤p≤∞. Various type of convergence of the sequences of measurable real functions: Fatou's lemma, μ-almost-everywhere convergence, convergence in the p-th mean, dominated convergence theorem, completeness of L^p (0 <+ ∞), μ-quasi-uniform convergence, Severini- Egorov theorem, convergence in measure, Weyl-Riesz criterion for convergence in measure. Measure with a density: absolutely continuous signed measure with respect to a measure μ, absolute continuity in the sense of Vitali and in the sense of Caccioppoli, Radon-Nykodym theorem. The Vitali theorem: equi-absolute continuity according to Vitali and according to Caccioppoli, Vitali's theorem on p-th mean convergence.
	-Alberto Tesei, Istituzioni di analisi superiore, Bollati Boringhieri, 1997 -Haim Brezis, Analisi funzionale, Liguori Editore, 1986
	Knowledge of elements of abstract integration theory and theory of Lp spaces.
	Sequences and series of functions, elements of general topology, Lebesgue measure theory, basic elements of abstract measure theory and normed spaces theory.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**ANELLO GIOVANNI**	**Matricola: 010028**
Docente	**ANELLO GIOVANNI, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002706 - ISTITUZIONI DI ANALISI PER LE APPLICAZIONI MOD. B**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	Richiami di Analisi Complessa. Trasformata di Fourier: La trasformata di Fourier di una funzione sommabile. Uniforme continuità della trasformata di Fourier. Teorema di Riemann-Lebesgue. Proprietà della trasformata di Fourier. Trasformata di Fourier e derivazione. Convoluzione. Formula di moltiplicazione. Teoremi di inversione. Identità di Parseval. Trasformata di Laplace: Trasformabilità e assoluta trasformabilità secondo Laplace in un punto di funzioni localmente sommabili. Definizione di trasformata di Laplace in un punto. Proprietà della trasformata di Laplace. Olomorfia della trasformata di Laplace. Teorema sulla convoluzione e sue conseguenze. Comportamento all'infinito della trasfromata di Laplace. Il problema dell'antitrasformazione. Applicazioni della trasformata di Laplace alle equazioni ed ai sistemi di equazioni differenziali lineari ordinarie. Distribuzioni: Lo spazio D delle funzioni test. Lo spazio S di Schwartz. Lo spazio E. Immersione di D in S e di D in E. Densità di D in E. Lo spazio D' delle distribuzioni. Distribuzioni funzione. Il delta di Dirac. Convergenza nel senso delle distribuzioni. Distribuzioni misura. Derivata di una distribuzione. Lo spazio S' delle distribuzioni temperate. Il duale E' dello spazio E. Convoluzione tra distribuzioni. La trasformata di Fourier di una distribuzione temperata.
Testi di riferimento	G. Di Fazio, M. Frasca, Metodi Matematici per l'Ingegneria, Monduzzi Editore.
Obiettivi formativi	Conoscenza delle trasformate di Fourier e di Laplace e delle loro principali proprietà e applicazioni. Distribuzioni e calcolo della trasformata di Fourier di una distribuzione temperata.
Prerequisiti	Calcolo differenziale e integrale per funzioni reali di una o più variabili reali, successioni e serie di funzioni, campo dei numeri complessi, misura di Lebesgue.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Outline of Complex Analysis. Fourier Transform: Fourier transform of a summable function. Uniform continuity of the Fourier transform. The Riemann-Lebesgue theorem. Properties of the Fourier transform. Convolution. Fourier transform e differentiation. Multiplication formula. Inversion theorems. Parseval identity. Laplace Transform: Laplace transformability e absolute trasformability of locally summable functions. Definition of Laplace transform. Proprieties of the Laplace transform. Holomorphy of the Laplace transform. Convolution theorem and its consequences. Behaviour at infinity of the Laplace transfrom. The antitransformation problem. Application of the Laplace transform to linear ordinary differential equations and systems. Distributions: The space D of test functions. The Schwartz space S. The space E. Embeddings of D in S and S in E. Density of D in E. The space of distributions D'. Function distributions. The Dirac distribution. Convergence in the distributional sense. Measure distributions. Differentiation of distributions. The space S' of temperate distributions. The dual space E' of the space E. Convolution of two distributions. The Fourier transform of a temperate distribution.
	G. Di Fazio, M. Frasca, Metodi Matematici per l'Ingegneria, Monduzzi Editore.
	Knowledge of Fourier and Laplace transforms and their relative properties and applications. Knowledge of Fourier Transform of a temperate distribution.
	Differential and integral calculus, sequences and series of functions, the field of complex numbers, Lebesgue measure.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	**Descrizione**

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**CURRO' CARMELA**	**Matricola: 009238**

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**8197 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**12**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	ITALIANO
Contenuti	-- Modulo: 8197/1 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.A --- EQUAZIONI DIFFERENZIALI A DERIVATE PARZIALI. Classificazione EDP del primo ordine. Curve caratteristiche e problema di Cauchy per EDP quasi-lineari. Equazioni del secondo ordine lineari, classificazione e riduzione a forma canonica. Buona posizione del problema di Cauchy, teorema di Cauchy-Kowaleski. EQUAZIONI CLASSICHE DELLA FISICA MATEMATICA.Equazione delle onde. Equazione della corda vibrante su domini limitati, metodo di Fourier. Equazione della corda vibrante su domini illimitati, formula di D'Alembert. Principio di Duhamel. Equazione delle onde in due e tre dimensioni. Metodo di Riemann per la soluzione delle EDP lineari del secondo ordine di tipo iperbolico.Equazione del calore. Principi di massimo. Soluzioni particolari del problema uni-dimensionale. Funzione di Green, Funzione di Neumann. Equazione di Laplace/Poisson. Problemi di Dirichlet, Neumann. Funzioni armoniche. Soluzione fondamentale. Soluzione dei problemi di Laplace/Dirichlet, Laplace/Neumann. SISTEMI 2x2 QUASI-LINEARI IPERBOLICI Teorema di riduzione. Trasformazione odografa, variabili di Riemann. Studio interazioni tra onde semplici. --- Modulo: 8197/2 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.B --- EDP del primo ordine non lineari, problema di Cauchy. Leggi scalari di conservazione. Soluzioni classiche e deboli. Onde d'urto. Condizioni di Rankine-Hugoniot. Problema di Riemann. Onde di rarefazione. Condizione di Entropia. Condizione di Oleinik. Problema di Riemann per flussi veicolari. Sistemi quasi lineari iperbolici. Definizione. Esempi: fluidi ideali, conduttore rigido del calore, mezzi termoelastici. Formulazione del problema di Cauchy per sistemi con due variabili indipendenti. Buona posizione e curve caratteristiche. Soluzione generale dei sistemi lineari. Onde semplici. Invarianti di Riemann generalizzati. Vincoli differenziali e onde semplici generalizzate. Calcolo delle onde semplici per i fluidi ideali. Onde eccezionali. Sistemi di leggi di conservazione. Leggi supplementari, campo principale e forma simmetrica. Soluzioni classiche e deboli. Onde d'urto. Condizioni di Rankine-Hugoniot. Urti forti e deboli. Urti caratteristici. Curve di Hugoniot. Condizioni di Lax. Criterio di Entropia. Urti in gas-dinamica. Problema di Riemann per il p-sistema. Onde di discontinuità. Sistema di Bernoulli per l'evoluzione dell'ampiezza d'onda, tempo critico.

Testi di riferimento	Modulo: 8197/1 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.A S. Salsa, EQUAZIONI A DERIVATE PARZIALI Metodi, modelli e applicazioni, Springer-Verlag Italia, Milano 2010. S. Salsa, G. Verzini, Equazioni a derivate parziali, complementi ed esercizi, Springer-Verlag Italia, Milano 2005. F. John, Partial Differential Equations, Applied Mathematical Sciences (1) Springer Verlag New York, 1982. R. Courant, K. O. Friedrichs, Supersonic flows and Shock Waves, Applied Mathematical Sciences (21) Springer Verlag New York, 1976. -- Modulo: 8197/2 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.B -- Smoeller J. , Shock Waves and Reaction-Diffusion Equation (A Series of Comprehensive Studies in Math. vol 258) (Berlin: Springer), 1983. Boillat G. , La propagation des ondes (Paris: Gauthier-Villars), 1965.
Obiettivi formativi	Metodologie avanzate per lo studio di problemi classici della fisica matematica e lo studio di fenomeni di propagazione e trasporto.
Prerequisiti	Conoscenze fondamentali di analisi matematica, geometria, meccanica razionale e dei continui, e di elementi di analisi funzionale.
Metodi didattici	La metodologia didattica prevede attività di lezione frontale ed esercitazioni. Il corso è strutturato in lezioni frontali in aula con l'ausilio di presentazioni in Beamer . La teoria è sempre accompagnata da esempi e dalla descrizione di applicazioni pratiche.
Modalità di verifica dell'apprendimento	Per ciascuno dei due moduli di cui si compone l'intero corso, la modalità di verifica dell'apprendimento consiste in una prova orale. Durante la prova orale lo studente dovra' rispondere ad un minimo di tre domande sugli argomenti oggetto del programma. Essa ha il duplice scopo di verificare il livello di conoscenza e di comprensione dei contenuti del corso e di valutare l'autonomia di giudizio, la capacità di apprendimento, l'abilità comunicativa, le proprietà di linguaggio scientifico e le facoltà logico-deduttive acquisite dallo studente. Il voto finale tiene conto della valutazione media, espressa in trentesimi, ottenuta nelle due prove orali.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	ITALIAN
	-- Modulo: 8197/1 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.A -- PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS Quasi-linear first order equations: characteristic manifolds and Cauchy problem. Linear second-order equations. Hyperbolic equations for functions of two independent variables. CLASSICAL EQUATIONS OF MATHEMATICAL PHYSICS. The one-dimensional wave equation: boundary-value problems. The wave equation in n-dimensional space. The method of spherical means: the Poisson formula. Hadamard method of descendent. Duhamel's principle. Riemann's method of integration for second order partial differential equations.The heat equation, the initial value problem. Maximum principles, uniqueness and regularity. Fundamental solution in one-dimensional space. The Laplace equation. Green's identity, fundamental solution. Maximum Principle, Dirichlet problem. QUASI-LINEAR HYPERBOLIC 2x2 SYSTEMS. Hodograph method and Riemann invariants. Simple waves, nonlinear wave

	interaction. -- Modulo: 8197/2 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.B -- Nonlinear first order Partial Differential Equations: characteristic curves, well-posed problems; uniqueness of solutions. Scalar conservation laws. Classical and weak solutions. Shock waves. Rankine-Hugoniot conditions. Riemann problem. Entropy condition. Oleinik condition. Traffic flow problems. First order quasilinear hyperbolic systems. Examples. Cauchy problem. Linear systems. Simple waves. Exceptional waves. Differential constraints and simple waves. Conservation law systems. Supplementary conservation laws, main field and symmetric form. Classical and weak solutions. Shock waves. Rankine-Hugoniot conditions. Lax conditions. Entropy criterium. Riemann problems. Discontinuity waves. Bernoulli system, critical time.
	PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.A S. Salsa, EQUAZIONI A DERIVATE PARZIALI Metodi, modelli e applicazioni, Springer-Verlag Italia, Milano 2010. S. Salsa, G. Verzini, Equazioni a derivate parziali, complementi ed esercizi, Springer-Verlag Italia, Milano 2005. F. John, Partial Differential Equations, Applied Mathematical Sciences (1) Springer Verlag New York, 1982. R. Courant, K. O. Friedrichs, Supersonic flows and Shock Waves, Applied Mathematical Sciences (21) Springer Verlag New York, 1976. -- Modulo: 8197/2 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.B -- Smoeller J. , Shock Waves and Reaction-Diffusion Equation (A Series of Comprehensive Studies in Math. vol 258) (Berlin: Springer), 1983. Boillat G. , La propagation des ondes (Paris: Gauthier-Villars), 1965.
	Advanced methodologies for the study of classical problems of mathematical physics and the study of propagation and transport phenomena.
	Calculus, geometry, rational mechanics and continuum mechanics. Elements of functional analysis.
	The didactic methodology consists of frontal lectures and some practical exercitations. The course is structured in classroom lectures with the support of slides. The theory is always accompanied by examples and description of practical applications
	Oral examination for both modules. The oral test will be set with at least three questions for each module. The interview is aimed at verifying the student's knowledge, his property of language and his logical-deductive ability. The final grade, expressed in thirthies, is calculated as the average of the grade obtained in the individual modules.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**CURRO' CARMELA**	**Matricola: 009238**
Docente	**CURRO' CARMELA, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**8197/1 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.A**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	EQUAZIONI DIFFERENZIALI A DERIVATE PARZIALI. Classificazione EDP del primo ordine. Curve caratteristiche e problema di Cauchy per EDP quasi-lineari. Equazioni del secondo ordine lineari, classificazione e riduzione a forma canonica. Buona posizione del problema di Cauchy, teorema di Cauchy-Kowaleski. EQUAZIONI CLASSICHE DELLA FISICA MATEMATICA.Equazione delle onde. Equazione della corda vibrante su domini limitati, metodo di Fourier. Equazione della corda vibrante su domini illimitati, formula di D'Alembert. Principio di Duhamel. Equazione delle onde in due e tre dimensioni. Metodo di Riemann per la soluzione delle EDP lineari del secondo ordine di tipo iperbolico.Equazione del calore. Principi di massimo. Soluzioni particolari del problema uni-dimensionale. Funzione di Green, Funzione di Neumann. Equazione di Laplace/Poisson. Problemi di Dirichlet, Neumann. Funzioni armoniche. Soluzione fondamentale. Soluzione dei problemi di Laplace/Dirichlet, Laplace/Neumann. SISTEMI 2x2 QUASI-LINEARI IPERBOLICI Teorema di riduzione. Trasformazione odografa, variabili di Riemann. Studio
Testi di riferimento	S. Salsa, EQUAZIONI A DERIVATE PARZIALI Metodi, modelli e applicazioni, Springer-Verlag Italia, Milano 2010. S. Salsa, G. Verzini, Equazioni a derivate parziali, complementi ed esercizi, Springer-Verlag Italia, Milano 2005. F. John, Partial Differential Equations, Applied Mathematical Sciences (1) Springer Verlag New York, 1982. R. Courant, K. O. Friedrichs, Supersonic flows and Shock Waves, Applied Mathematical Sciences (21) Springer Verlag New York, 1976.
Obiettivi formativi	Metodologie avanzate per lo studio e la formalizzazione matematica di classici problemi di Fisica Matematica formulati attraverso equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali.
Prerequisiti	Conoscenze fondamentali di analisi matematica, geometria, meccanica razionale e dei continui, e di elementi di analisi funzionale.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS Quasi-linear first order equations: characteristic manifolds and Cauchy problem. Linear second-order equations. Hyperbolic equations for functions of two independent variables. CLASSICAL EQUATIONS OF MATHEMATICAL PHYSICS. The one-dimensional wave equation: boundary-value problems. The wave equation in n-dimensional space. The method of spherical means: the Poisson formula. Hadamard method of descendent. Duhamel’s principle. Riemann’s method of integration for second order partial differential equations.The heat equation, the initial value problem. Maximum principles, uniqueness and regularity. Fundamental solution in one-dimensional space. The Laplace equation. Green’s identity, fundamental solution. Maximum Principle, Dirichlet problem. QUASI-LINEAR HYPERBOLIC 2x2 SYSTEMS. Hodograph method and Riemann invariants. Simple waves, nonlinear wave interaction.
	S. Salsa, EQUAZIONI A DERIVATE PARZIALI Metodi, modelli e applicazioni, Springer-Verlag Italia, Milano 2010. S. Salsa, G. Verzini, Equazioni a derivate parziali, complementi ed esercizi, Springer-Verlag Italia, Milano 2005. F. John, Partial Differential Equations, Applied Mathematical Sciences (1) Springer Verlag New York, 1982. R. Courant, K. O. Friedrichs, Supersonic flows and Shock Waves, Applied Mathematical Sciences (21) Springer Verlag New York, 1976.
	Advanced methodologies for the study and the mathematical formalization of classical problems of mathematical physics expressed in terms of ordinary and partial differential equations.
	Calculus, geometry, rational mechanics and continuum mechanics. Elements of functional analysis.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**MANGANARO NATALE**	**Matricola: 009075**
Docente	**MANGANARO NATALE, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**8197/2 - PROPAGAZIONE E TRASPORTO NEI MEZZI CONTINUI - MOD.B**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	EDP del primo ordine non lineari, problema di Cauchy. Leggi scalari di conservazione. Soluzioni classiche e deboli. Onde d'urto. Condizioni di Rankine-Hugoniot. Problema di Riemann. Onde di rarefazione. Condizione di Entropia. Condizione di Oleinik. Problema di Riemann per flussi veicolari. Sistemi quasi lineari iperbolici. Definizione. Esempi: fluidi ideali, conduttore rigido del calore, mezzi termoelastici. Formulazione del problema di Cauchy per sistemi con due variabili indipendenti. Buona posizione e curve caratteristiche. Soluzione generale dei sistemi lineari. Onde semplici. Invarianti di Riemann generalizzati. Vincoli differenziali e onde semplici generalizzate. Calcolo delle onde semplici per i fluidi ideali. Onde eccezionali. Sistemi di leggi di conservazione. Leggi supplementari, campo principale e forma simmetrica. Soluzioni classiche e deboli. Onde d'urto. Condizioni di Rankine-Hugoniot. Urti forti e deboli. Urti caratteristici. Curve di Hugoniot. Condizioni di Lax. Criterio di Entropia. Urti in gas-dinamica. Problema di Riemann per il p-sistema. Onde di discontinuità. Sistema di Bernoulli per l'evoluzione dell'ampiezza d'onda, tempo critico.
Testi di riferimento	1. Smoller J. , Shock Waves and Reaction-Diffusion Equation (A Series of Comprehensive Studies in Math. vol 258) (Berlin: Springer), 1983. 2. Boillat G. , La propagation des ondes (Paris: Gauthier-Villars), 1965.
Obiettivi formativi	Metodologie avanzate per lo studio di fenomeni di propagazione ondosa, processi di trasporto descritti da sistemi di equazioni iperboliche (onde semplici, problemi di Riemann, onde d'urto).

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Nonlinear first order Partial Differential Equations: characteristic curves, well-posed problems; uniqueness of solutions. Scalar conservation laws. Classical and weak solutions. Shock waves. Rankine-Hugoniot conditions. Riemann problem. Entropy condition. Oleinik condition. Traffic flow problems. First order quasilinear hyperbolic systems. Examples. Cauchy

	problem. Linear systems. Simple waves. Exceptional waves. Differential constraints and simple waves. Conservation law systems. Supplementary conservation laws, main field and symmetric form. Classical and weak solutions. Shock waves. Rankine-Hugoniot conditions. Lax conditions. Entropy criterium. Riemann problems. Discontinuity waves. Bernoulli system, critical time.
	1. Smoller J. , Shock Waves and Reaction-Diffusion Equation (A Series of Comprehensive Studies in Math. vol 258) (Berlin: Springer), 1983. 2. Boillat G. , La propagation des ondes (Paris: Gauthier-Villars), 1965.
	Advanced methodologies for studying wave propagation and transport phenomena governed by hyperbolic systems of partial differential equations (simple waves, Riemann problems, shock waves).

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did. **OLIVERI FRANCESCO** **Matricola: 009074**

Docente **OLIVERI FRANCESCO, 6 CFU**

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**5852 - SISTEMI DINAMICI**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**PRIMO SEMESTRE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	ITALIANO
Contenuti	Sistemi di equazioni differenziali lineari. Spazi vettoriali complessi. Operatori reali con autovalori complessi. Topologia di R^n. Esponenziale di operatori. Sistemi lineari omogenei. Sistemi non omogenei. La decomposizione primaria. La decomposizione S+N. Calcolo diretto di exp(At). Decomposizione canonica ed equazioni differenziali. Operatori contrattivi ed espansivi. Pozzi e sorgenti. Flussi iperbolici. Esistenza e unicità della soluzione. Continuità delle soluzioni dai dati iniziali. Continuazione delle soluzioni. Stabilità dei punti di equilibrio. Linearizzazione attorno ad una soluzione di equilibrio. Pozzi non lineari. Stabilità. Funzione di Liapunov. Equazioni differenziali con autovalori reali e distinti. Autovalori complessi. Autospazi e varietà invarianti. Costruzione analitica delle varietà stabile e instabile. Biforcazioni dei sistemi continui. Biforcazioni dei punti fissi. Biforcazioni statiche. Biforcazione di Hopf. Forme normali per le biforcazioni. Riduzione sulla varietà centrale. Equazioni differenziali dei circuiti elettrici. Equazione di Van der Pol. Metodi asintotici: Poincaré, Lindstedt, scale multiple. Soluzioni periodiche. Teoria di Floquet. Varietà delle soluzioni periodiche. Mappe di Poincaré. Biforcazioni delle soluzioni periodiche. Biforcazione per rottura di simmetria. Biforcazione ciclica ripiegata. Biforcazione transcritica. Biforcazione di raddoppio del periodo. Biforcazione di Hopf secondaria o di Neimark. Sistemi dinamici discreti. Punti fissi, orbite periodiche e loro stabilità. Soluzioni caotiche.Mappe Unidimensionali. Esponente di Liapunov in una dimensione. Mappa logistica. Mappe bidimensionali. Mappa di Henon. Esponenti di Liapunov di mappe discrete. Calcolo numerico degli esponenti di Liapunov. I sistemi di Lorenz, Rossler e Chua. Esponenti di Liapunov dei sistemi continui.
Testi di riferimento	1) M. W. Hisrsh, S. Smale, R. L. Devaney. Differential Equations, Dynamical Systems, and an Introduction to Chaos, 3rd edition, Academic Press, 2013. 2) F. Oliveri. Draft notes on dynamical systems.
Obiettivi formativi	Conoscenza di metodi e tecniche per lo studio qualitativo e quantitativo di sistemi dinamici lineari e non lineari continui e di mappe discrete. Conoscenza dell'uso di sistemi di calcolo scientifico.

Prerequisiti	Calcolo differenziale e integrale di funzioni di variabili reali, algebra lineare, strutture algebriche.
Metodi didattici	Lezioni teoriche ed esercitazioni con l'ausilio di strumenti simbolici e numerici di calcolo scientifico.
Modalità di verifica dell'apprendimento	Esame orale che prevede la discussione di una una tesina su argomenti assegnati dal docente e domande sugli argomenti sviluppati nel corso. La valutazione finale terrà conto del grado di preparazione raggiunto, della proprietà e correttezza del inguaggio.
Programma esteso	Sistemi di equazioni differenziali lineari. Spazi vettoriali complessi. Operatori reali con autovalori complessi. Topologia di R^n. Esponenziale di operatori. Sistemi lineari omogenei. Sistemi non omogenei. La decomposizione primaria. La decomposizione S+N. Calcolo diretto di exp(At). Decomposizione canonica ed equazioni differenziali. Operatori contrattivi ed espansivi. Pozzi e sorgenti. Flussi iperbolici. Esistenza e unicità della soluzione. Continuità delle soluzioni dai dati iniziali. Continuazione delle soluzioni. Stabilità dei punti di equilibrio. Linearizzazione attorno ad una soluzione di equilibrio. Pozzi non lineari. Stabilità. Funzione di Liapunov. Equazioni differenziali con autovalori reali e distinti. Autovalori complessi. Autospazi e varietà invarianti. Costruzione analitica delle varietà stabile e instabile. Biforcazioni dei sistemi continui. Biforcazioni dei punti fissi. Biforcazioni statiche. Biforcazione di Hopf. Forme normali per le biforcazioni. Riduzione sulla varietà centrale. Equazioni differenziali dei circuiti elettrici. Equazione di Van der Pol. Metodi asintotici: Poincaré, Lindstedt, scale multiple. Soluzioni periodiche. Teoria di Floquet. Varietà delle soluzioni periodiche. Mappe di Poincaré. Biforcazioni delle soluzioni periodiche. Biforcazione per rottura di simmetria. Biforcazione ciclica ripiegata. Biforcazione transcritica. Biforcazione di raddoppio del periodo. Biforcazione di Hopf secondaria o di Neimark. Sistemi dinamici discreti. Punti fissi, orbite periodiche e loro stabilità. Soluzioni caotiche.Mappe Unidimensionali. Esponente di Liapunov in una dimensione. Mappa logistica. Mappe bidimensionali. Mappa di Henon. Esponenti di Liapunov di mappe discrete. Calcolo numerico degli esponenti di Liapunov. I sistemi di Lorenz, Rossler e Chua. Esponenti di Liapunov dei sistemi continui.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	Systems of linear differential equations. Complex vector spaces. Real operators with complex eigenvalues. Topology of R^n. Exponential of operators. Homogeneous linear systems. Non homogeneous systems. Primary decomposition. The S+N decomposition. Direct calculation of exp(At). Canonical decomposition and differential equations. Contractive and expansive operators. Sinks and sources. Hyperbolic flows. Existence and uniqueness of the solution. Continuity of solutions from initial data. Continuation of solutions. Stability of equilibrium points. Linearization around an equilibrium solution. Nonlinear sinks. Stability. Liapunov function. Differential equations with real and distinct eigenvalues. Complex eigenvalues. Autospaces and invariant manifolds. Analytical construction of stable and unstable manifolds. Bifurcations of continuous systems. Bifurcations of fixed points. Static bifurcations. Bifurcation of Hopf. Normal forms for bifurcations. Reduction on the center manifold. Differential equations of electrical circuits. Van der Pol equation.

Asymptotic methods: Poincaré and Lindstedt methods, multiple scale method. Periodic solutions. Floquet theory. Manifolds of periodic solutions. Poincaré maps. Bifurcations of periodic solutions. Bifurcation due to symmetry breaking. Cyclic bifurcation folded. Transcritical bifurcation. Doubling period bifurcation. Secondary Hopf bifurcation (Neimark). Discrete dynamical systems. Fixed points, periodic orbits and their stability. Chaotic solutions. One-dimensional maps. Liapunov exponent in one dimension. Logistic map. Two-dimensional maps. Henon map. Liapunov exponents of discrete maps. Numerical calculation of Liapunov exponents. Lorenz, Rossler and Chua systems. Liapunov exponents of continuous systems.

1) M. W. Hisrsh, S. Smale, R. L. Devaney. Differential Equations, Dynamical Systems, and an Introduction to Chaos, 3rd edition, Academic Press, 2013. 2) F. Oliveri. Draft notes on dynamical systems.

Knowledge of methods and techniques for the qualitative and quantitative study of continuous linear and nonlinear dynamical systems and discrete maps. Knowledge of the use of scientific computation tools.

Differential and integral calculus of functions of real variables, linear algebra, algebraic structures.

Theoretical lectures and exercitations with the aid of symbolic and numeric software tools.

Oral exam that includes the discussion of a short essay on topics assigned by the teacher and questions on the topics developed in the course. The final evaluation will take into account the level of preparation achieved, the propriety and correctness of the language.

Systems of linear differential equations. Complex vector spaces. Real operators with complex eigenvalues. Topology of R^n. Exponential of operators. Homogeneous linear systems. Non homogeneous systems. Primary decomposition. The S+N decomposition. Direct calculation of exp(At). Canonical decomposition and differential equations. Contractive and expansive operators. Sinks and sources. Hyperbolic flows. Existence and uniqueness of the solution. Continuity of solutions from initial data. Continuation of solutions. Stability of equilibrium points. Linearization around an equilibrium solution. Nonlinear sinks. Stability. Liapunov function. Differential equations with real and distinct eigenvalues. Complex eigenvalues. Autospaces and invariant manifolds. Analytical construction of stable and unstable manifolds. Bifurcations of continuous systems. Bifurcations of fixed points. Static bifurcations. Bifurcation of Hopf. Normal forms for bifurcations. Reduction on the center manifold. Differential equations of electrical circuits. Van der Pol equation. Asymptotic methods: Poincaré and Lindstedt methods, multiple scale method. Periodic solutions. Floquet theory. Manifolds of periodic solutions. Poincaré maps. Bifurcations of periodic solutions. Bifurcation due to symmetry breaking. Cyclic bifurcation folded. Transcritical bifurcation. Doubling period bifurcation. Secondary Hopf bifurcation (Neimark). Discrete dynamical systems. Fixed points, periodic orbits and their stability. Chaotic solutions. One-dimensional maps. Liapunov exponent in one dimension. Logistic map. Two-dimensional maps. Henon map. Liapunov exponents of discrete maps. Numerical calculation of Liapunov exponents. Lorenz, Rossler and Chua systems. Liapunov exponents of continuous systems.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**FAZIO RICCARDO**	**Matricola: 009112**

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002707 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**12**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Lingua insegnamento	Italiano
Contenuti	--- Modulo: A002708 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. A --- Equazioni differenziali ordinarie: problemi ai valori iniziali. Equazioni a derivate parziali: equazione del calore. Formula di Taylor e metodi numerici. Metodi di Taylor, Runge-Kutta e multi-passo. Metodi espliciti e metodi impliciti. Consistenza, convergenza e stabilità dei metodi numerici. Teoremi di equivalenza. Problemi conservativi, metodi conservativi e simplettici. Controllo dell'errore e metodi adattivi. Applicazioni di OCTAVE all'economia e alla finanza. Metodo alle differenze finite esplicito per le opzioni put di tipo Americano. Stimatore dell'errore con l'estrapolazione di Richardson. --- Modulo: A002709 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. B --- Equazioni alle derivate parziali. Equazione di diffusione o del calore. Metodi alle differenze finite e formula di Taylor. Metodo esplicito, metodo implicito, metodo di Crank Nicolson, theta metodo. Consistenza, convergenza e stabilità. Teoremi di convergenza. Analisi di stabilità secondo von Neumann. Metodi numerici per l'equazione del calore in due dimensioni di spazio. Equazione del trasporto. Metodo delle caratteristiche. Condizione CFL e suo significato. Metodi alle differenze finite. Metodi upwind e di Lax-Wendroff, Lax Friedrichs, FTCS e metodo implicito. Teorema di convergenza. Studio della stabilità con l'analisi di von Neumann. Fattore di amplificazione. Studio della dissipazione e della dispersione. Equazioni iperboliche non lineari. Equazione di Burgers e del traffico. Problema di Riemann. Metodi lineari, metodi monotoni, metodi TVD. Metodi non lineari, high resolution. Teorema di Godunov e di Harten. Limitatori di flusso. Metodi ai volumi finiti. Metodo di Godunov. Metodi MUSCL. Equazioni ellittica. Analisi dell'errore e principio del massimo. Metodi alle differenze finite. Esercitazioni al computer con il MATLAB. Programmazione in MATLAB. Grafica in due e tre dimensioni in MATLAB.

Testi di riferimento	--- Modulo: A002708 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. A --- R. Fazio, Metodi Numerici per Problemi ai Valori Iniziali, TGBook Ed., Sandrigo, 2014. R. Fazio, OCTAVE per l'Economia e la Finanza. TGBook Ed., Sandrigo, 2020. --- Modulo: A002709 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. B --- 1) K.W. Morton and D. Meyers. Numerical solution of partial differential equations. II eds. Cambridge, 2005. 2) R. J. LeVeque. Finite-Volume methods for Hyperbolic Problems. Cambridge Texts in Applied Mathematics.2004. 3) E. Toro. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics. Springer. 4) Dispense fornite dal docente.
Obiettivi formativi	Conoscenza di metodi numerici per la risoluzione di equazioni alle derivate ordinarie e loro implementazione in ambienti di calcolo scientifico. Abilità nello sviluppare un’accurata analisi critica dei risultati. Conoscenza di metodi numerici per la risoluzione di equazioni alle derivate parziali e loro implementazione in ambiente di calcolo scientifico. Abilità nello sviluppare un’accurata analisi critica dei risultati.
Prerequisiti	Calcolo differenziale: equazioni differenziali e loro soluzioni, formula di Taylor con il resto di Lagrange. Conoscenze di base di analisi numerica. Calcolo differenziale: equazioni differenziali e loro soluzioni. Metodi numerici per equazioni differenziali ordinarie.
Metodi didattici	Lezioni frontali e esercitazioni di laboratorio.
Modalità di verifica dell'apprendimento	Modulo A: Esami orali. In tale contesto verranno valutati: grado di preparazione raggiunto, proprietà di linguaggio rispetto agli argomenti trattati e capacità espositiva. Il voto finale del Mod A è espresso in trentesimi. Modulo B: L'esame consiste di una prova di laboratorio ed una prova orale. La prova di laboratorio consiste nell’implementazione di un codice in Matlab per la risoluzione numerica di equazioni alle derivate parziali. La valutazione della prova in laboratorio è espressa in trentesimi e si intende superata con la votazione di almeno 18/30. Gli studenti che avranno superato la prova di laboratorio dovranno sostenere la prova orale sugli argomenti sviluppati durante il Mod. B. In tale contesto verranno valutati: grado di preparazione raggiunto, proprietà di linguaggio rispetto agli argomenti trattati e capacità espositiva. Il voto finale del Mod. B è espresso in trentesimi ed è dato dalla media aritmetica dei voti conseguiti nella prova di laboratorio e nella prova orale. Il voto finale è espresso in trentesimi è dato dalla media aritmetica dei voti conseguiti nel Mod. A e nel Mod. B.
Programma esteso	--- Modulo: A002708 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. A --- Metodi numerici per problemi ai valori iniziali e al contorno. Metodi consevativi e simplettici. --- Modulo: A002709 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. B

Equazioni alle derivate parziali. Equazione di diffusione o del calore. Metodi alle differenze finite e formula di Taylor. Metodo esplicito, metodo implicito, metodo di Crank Nicolson, theta metodo. Consistenza, convergenza e stabilità. Teoremi di convergenza. Analisi di stabilità secondo von Neumann. Metodi numerici per l'equazione del calore in due dimensioni di spazio. Equazione del trasporto. Metodo delle caratteristiche. Condizione CFL e suo significato. Metodi alle differenze finite. Metodi upwind e di Lax-Wendroff, Lax Friedrichs, FTCS e metodo implicito. Teorema di convergenza. Studio della stabilità con l'analisi di von Neumann. Fattore di amplificazione. Studio della dissipazione e della dispersione. Equazioni iperboliche non lineari. Equazione di Burgers e del traffico. Problema di Riemann. Metodi lineari, metodi monotoni, metodi TVD. Metodi non lineari, high resolution. Teorema di Godunov e di Harten. Limitatori di flusso. Metodi ai volumi finiti. Metodo di Godunov. Metodi MUSCL. Equazioni ellittica. Analisi dell'errore e principio del massimo. Metodi alle differenze finite.
Esercitazioni al computer con il MATLAB.
Programmazione in MATLAB. Grafica in due e tre dimensioni in MATLAB.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Italian
	-- Modulo: A002708 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. A -- Ordinary differential equations: initial value problems. Partial differential equations: heat equations. Taylor formula and numerical methods. Taylor, Runge-Kutta and multi-step methods. Consistency, convergence and stability of numerical methods. Equivalence Theorem. Applications of OCTAVE to economy and finance. Explicit finite difference method for American put option. Error estimator by Richardson extrapolation. -- Modulo: A002709 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. B -- Partial differential equations. Diffusion or heat equation. Finite difference methods and Taylor's formula. Explicit method, implicit method, Crank Nicolson method, theta method. Consistency, convergence and stability. Convergence theorems. Stability analysis according to von Neumann analysis. Numerical methods for the heat equation in two space dimensions. Advection equation. characteristic method. CFL condition and its geometric interpretation. Finite difference methods. Upwind and Lax-Wendroff methods, Lax Friedrichs, FTCS and implicit method. Convergence theorem. Stability study with von Neumann analysis. Amplification factor. Study of dissipation and dispersion. Nonlinear hyperbolic equations. Burgers and traffic equation. Riemann problem. Linear methods, monotonic methods, TVD methods. Non-linear methods, high resolution methods. Godunov and Harten theorem. Flux Elimiters. Finite volume methods. Godunov method. MUSCL methods. Elliptic equation. Error analysis and maximum principle. Finite difference

methods.
Computer exercises with MATLAB.
Programming in MATLAB. Two- and three-dimensional graphics in MATLAB.

Modulo: A002708 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. A

R. Fazio, Metodi Numerici per Problemi ai Valori Iniziali, TGBook Ed., Sandrigo, 2014.
R. Fazio, OCTAVE per l'Economia e la Finanza. TGBook Ed., Sandrigo, 2020.

Modulo: A002709 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. B
----
1) K.W. Morton and D. Meyers. Numerical solution of partial differential equations. II eds. Cambridge, 2005.
2) R. J. LeVeque. Finite-Volume methods for Hyperbolic Problems. Cambridge Texts in Applied Mathematics.2004.
3) E. Toro. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics. Springer.
4) Lecture notes provided by the professor.

Knowledge of numerical methods for solving ordinary differential equations and their implementation in scientific computing environments. Ability to develop an accurate critical analysis of the results.
Knowledge of numerical methods for solving partial differential equations and their implementation in scientific computing environment. Ability to develop an accurate critical analysis of the results.

Differential calculus: differential equations and their solutions, Taylor's formula with Lagrange remainder.
Basic knowledge of numerical analysis. Differential calculus: differential equations and their solutions. Numerical methods for ordinary differential equations.

Frontal lessons and laboratory's exercises.

Mod. A: Oral examinations. In this contest will be verified: the degree of achieved preparation, language properties on the topic of the course.
The final vote will be expressed in /30.

Mod. B: Laboratory test plus oral examination. In this contest will be verified: the degree of achieved preparation, language properties on the topic of the course.
The final vote will be expressed in /30.

The global vote will be the media od the two previous ones.

Modulo: A002708 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. A

Numerical methods for initial value problems. Conservative and Sympletting methods.

Modulo: A002709 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. B

Partial differential equations. Diffusion or heat equation. Finite difference methods and Taylor's formula. Explicit method, implicit method, Crank Nicolson method, theta method. Consistency, convergence and stability.

	Convergence theorems. Stability analysis according to von Neumann analysis. Numerical methods for the heat equation in two space dimensions. Advection equation. characteristic method. CFL condition and its geometric interpretation. Finite difference methods. Upwind and Lax-Wendroff methods, Lax Friedrichs, FTCS and implicit method. Convergence theorem. Stability study with von Neumann analysis. Amplification factor. Study of dissipation and dispersion. Nonlinear hyperbolic equations. Burgers and traffic equation. Riemann problem. Linear methods, monotonic methods, TVD methods. Non-linear methods, high resolution methods. Godunov and Harten theorem. Flux Elimiters. Finite volume methods. Godunov method. MUSCL methods. Elliptic equation. Error analysis and maximum principle. Finite difference methods. Computer exercises with MATLAB. Programming in MATLAB. Two- and three-dimensional graphics in MATLAB.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**FAZIO RICCARDO**	**Matricola: 009112**
Docente	**FAZIO RICCARDO, 6 CFU**	

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002708 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. A**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	Equazioni differenziali ordinarie: problemi ai valori iniziali. Equazioni a derivate parziali: equazione del calore. Formula di Taylor e metodi numerici. Metodi di Taylor, Runge-Kutta e multi-passo. Metodi espliciti e metodi impliciti. Consistenza, convergenza e stabilità dei metodi numerici. Teoremi di equivalenza. Problemi conservativi, metodi conservativi e simplettici. Controllo dell'errore e metodi adattivi. Applicazioni di OCTAVE all'economia e alla finanza. Metodo alle differenze finite esplicito per le opzioni put di tipo Americano. Stimatore dell'errore con l'estrapolazione di Richardson.
Testi di riferimento	R. Fazio, Metodi Numerici per Problemi ai Valori Iniziali, TGBook Ed.,Sandrigo, 2014. R. Fazio, OCTAVE per l'Economia e la Finanza. TGBook Ed., Sandrigo, 2020.
Obiettivi formativi	Conoscenza di metodi numerici per la risoluzione di equazioni alle derivate ordinarie e loro implementazione in ambienti di calcolo scientifico. Abilità nello sviluppare un'accurata analisi critica dei risultati.
Prerequisiti	Calcolo differenziale: equazioni differenziali e loro soluzioni, formula di Taylor con il resto di Lagrange.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Ordinary differential equations: initial value problems. Partial differential equations: heat equations. Taylor formula and numerical methods. Taylor, Runge-Kutta and multistep methods. Consistency, convergence and stability of numerical methods. Equivalence Theorem. Applications of OCTAVE to economy and finance. Explicit finite difference method for American put option. Error estimator by Richardson extrapolation.

	R. Fazio, Metodi Numerici per Problemi ai Valori Iniziali, TGBook Ed.,Sandrigo, 2014. R. Fazio, OCTAVE per l'Economia e la Finanza. TGBook Ed., Sandrigo, 2020.
	Knowledge of numerical methods for solving ordinary differential equations and their implementation in scientific computing environments. Ability to develop an accurate critical analysis of the results.
	Differential calculus: differential equations and their solutions, Taylor's formula with Lagrange remainder.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi del Syllabus

Resp. Did.	**JANNELLI ALESSANDRA**	**Matricola: 006986**

Docente	**JANNELLI ALESSANDRA, 6 CFU**

Anno offerta:	**2025/2026**
Insegnamento:	**A002709 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI MOD. B**
Corso di studio:	**9223R - MATEMATICA**
Anno regolamento:	**2025**
CFU:	**6**
Anno corso:	**1**
Periodo:	**ANNUALE**

Testi in italiano

Contenuti	Equazioni alle derivate parziali. Equazione di diffusione o del calore. Metodi alle differenze finite e formula di Taylor. Metodo esplicito, metodo implicito, metodo di Crank Nicolson, theta metodo. Consistenza, convergenza e stabilità. Teoremi di convergenza. Analisi di stabilità secondo von Neumann. Metodi numerici per l'equazione del calore in due dimensioni di spazio. Equazione del trasporto. Metodo delle caratteristiche. Condizione CFL e suo significato. Metodi alle differenze finite. Metodi upwind e di Lax-Wendroff, Lax Friedrichs, FTCS e metodo implicito. Teorema di convergenza. Studio della stabilità con l'analisi di von Neumann. Fattore di amplificazione. Studio della dissipazione e della dispersione. Equazioni iperboliche non lineari. Equazione di Burgers e del traffico. Problema di Riemann. Metodi lineari, metodi monotoni, metodi TVD. Metodi non lineari, high resolution. Teorema di Godunov e di Harten. Limitatori di flusso. Metodi ai volumi finiti. Metodo di Godunov. Metodi MUSCL. Equazioni ellittiche. Analisi dell'errore e principio del massimo. Metodi alle differenze finite. Esercitazioni al computer con il MATLAB. Programmazione in MATLAB. Grafica in due e tre dimensioni in MATLAB.
Testi di riferimento	1) K.W. Morton and D. Meyers. Numerical solution of partial differential equations. II eds. Cambridge, 2005. 2) R. J. LeVeque. Finite-Volume methods for Hyperbolic Problems. Cambridge Texts in Applied Mathematics.2004. 3) E. Toro. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics. Springer. 4) Dispense fornite dal docente.
Obiettivi formativi	Conoscenza di metodi numerici per la risoluzione di equazioni alle derivate parziali e loro implementazione in ambiente di calcolo scientifico. Abilità nello sviluppare un'accurata analisi critica dei risultati.
Prerequisiti	Conoscenze di base di analisi numerica. Calcolo differenziale: equazioni differenziali e loro soluzioni. Metodi numerici per equazioni differenziali ordinarie.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione

Testi in inglese

	Partial differential equations. Diffusion or heat equation. Finite difference methods and Taylor's formula. Explicit method, implicit method, Crank Nicolson method, theta method. Consistency, convergence and stability. Convergence theorems. Stability analysis according to von Neumann analysis. Numerical methods for the heat equation in two space dimensions. Advection equation. characteristic method. CFL condition and its geometric interpretation. Finite difference methods. Upwind and Lax-Wendroff methods, Lax Friedrichs, FTCS and implicit method. Convergence theorem. Stability study with von Neumann analysis. Amplification factor. Study of dissipation and dispersion. Nonlinear hyperbolic equations. Burgers and traffic equation. Riemann problem. Linear methods, monotonic methods, TVD methods. Non-linear methods, high resolution methods. Godunov and Harten theorem. Flux Elimiters. Finite volume methods. Godunov method. MUSCL methods. Elliptic equation. Error analysis and maximum principle. Finite difference methods. Computer exercises with MATLAB. Programming in MATLAB. Two- and three-dimensional graphics in MATLAB.
	1) K.W. Morton and D. Meyers. Numerical solution of partial differential equations. II eds. Cambridge, 2005. 2) R. J. LeVeque. Finite-Volume methods for Hyperbolic Problems. Cambridge Texts in Applied Mathematics.2004. 3) E. Toro. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics. Springer. 4) Lecture notes provided by the professor.
	Knowledge of numerical methods for solving partial differential equations and their implementation in scientific computing environment. Ability to develop an accurate critical analysis of the results.
	Basic knowledge of numerical analysis. Differential calculus: differential equations and their solutions. Numerical methods for ordinary differential equations.

Obiettivi per lo sviluppo sostenibile

Codice	Descrizione