



LAUREA MAGISTRALE

Matematica Applicata

PRESENTAZIONE GENERALE

Il corso di studi in Matematica applicata vuole formare matematici e matematiche con una solida preparazione teorica e con un'ampia conoscenza delle idee e degli strumenti con cui la matematica partecipa allo sviluppo di altre discipline (per esempio fisica, informatica, biologia, economia, ingegneria), e contribuisce al progresso scientifico e tecnologico.

Grazie a una formazione basata sull'interazione tra teoria e applicazione, i laureati e le laureate magistrali in Matematica applicata avranno le competenze per contribuire alla soluzione di un ampio spettro di problemi applicativi, e potranno inserirsi con successo in realtà produttive, nelle amministrazioni, e nel mondo ricerca, oppure proseguire la loro formazione attraverso il dottorato o scuole di specializzazione, in matematica o nelle discipline che utilizzano in modo rilevante la modellistica matematica.

Infine, nonostante non siano previsti percorsi didattici esplicitamente dedicati alla preparazione all'insegnamento o alle attività divulgative, il corso di studi in Matematica Applicata garantisce una formazione ampia, che copre tutti gli aspetti culturali e curricolari dell'attuale insegnamento nelle scuole, inclusi argomenti di statistica e informatica, e che si sviluppa attraverso il rapporto con le altre discipline. Per questi motivi il C.d.S. dà una buona base per poi intraprendere la strada dell'insegnamento.

CHI PUÒ ISCRIVERSI

È richiesto il possesso della laurea o del diploma universitario di durata triennale, o di altro titolo di studio conseguito in Italia o all'estero, con i seguenti requisiti curricolari:

- 27 CFU nei settori di formazione matematica di base (MAT/02, MAT/03, MAT/05, MAT/06, MAT/07, MAT/08);
- 15 CFU nei settori di formazione fisica di base (FIS/01-08) e/o nei settori di formazione informatica di base (INF/01, ING-INF/05);
- ulteriori 42 crediti nei settori di base e caratterizzanti (MAT/01-09, FIS/01-08, INF/01, ING-INF/05).

Sono inoltre richiesti, come requisiti di preparazione personale, una buona conoscenza della formazione matematica di base, delle basi della fisica, e dei necessari strumenti informatici, e la conoscenza della lingua inglese almeno a livello B1. Per i dettagli rimandiamo alla sezione *Iscriversi* sulle pagine del Corso di studi in Matematica Applicata 2022-2023, in corso di pubblicazione su <https://corsidilaurea.uniroma1.it>.

STRUTTURA DEL CORSO DI STUDI

Il corso di studi prevede

- 4 corsi da 9 CFU:
- 6 corsi da 6 CFU specifici per il corso di studi
- 2 corsi da 6 CFU liberi a scelta
- 2 idoneità: inglese (4 CFU); altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro (3 CFU)
- Prova finale (29 CFU)

La proposta didattica della Laurea magistrale in Matematica applicata è intimamente legata alle linee di ricerca attive e vitali del Dipartimento di Matematica nei settori dell'algebra computazionale, del calcolo delle variazioni, della probabilità e della statistica, dell'analisi numerica, della fisica matematica e delle applicazioni all'informatica. L'offerta formativa si articola in 6 corsi da 9 cfu, 24 corsi da 6 cfu, organizzati in **3 curricula**:

MApS: Matematica Applicata per le Scienze

per una formazione approfondita negli strumenti analitici, probabilistici e fisico-matematici alla base dello studio delle scienze naturali, sociali e dell'ingegneria.

MoND: Modellistica Numerica e Differenziale

per una formazione approfondita sulla modellizzazione analitica dei problemi applicativi e sulle tecniche numeriche per affrontarli e risolverli.

MaDS: Matematica per Data Science

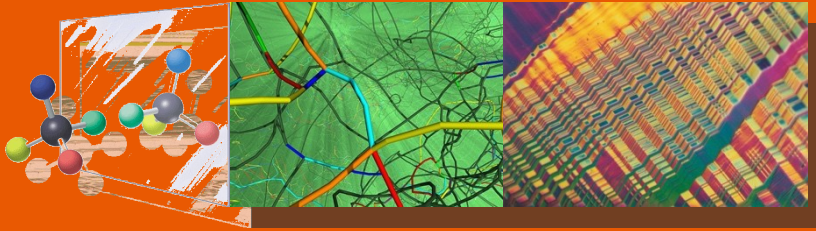
per una formazione approfondita sui metodi probabilistici, statistici, di ricerca operativa, di matematica discreta, e sugli algoritmi di intelligenza artificiale per l'analisi dei dati.

Troverai i dettagli sui piani di studio sulle pagine

<https://www.mat.uniroma1.it/didattica/percorsi-formativi>



Matematica Applicata per le Scienze - MApS



Le domande fondamentali poste dalle scienze naturali e ingegneristiche e dall'economia hanno da sempre ispirato i matematici a ricercare nuove strutture e nuovi concetti per la comprensione dei fenomeni naturali e sociali. L'interazione con le altre scienze è un punto centrale dello sviluppo della matematica e, più in generale, della cultura scientifica e tecnologica delle società contemporanee.

Molte e importanti parti della matematica sono nate e si sono sviluppate insieme alla fisica. Per esempio il calcolo differenziale nasce insieme alla teoria del moto, il calcolo delle variazioni insieme alla scoperta delle proprietà estremali dei moti, la serie Fourier insieme allo studio della diffusione del calore, la teoria delle equazioni integrali insieme alle equazioni della fisica matematica, lo studio degli operatori illimitati su spazi di Hilbert insieme alla formalizzazione della meccanica quantistica. Non sorprende dunque che gran parte dei matematici dell'età moderna (pensiamo a Laplace, Euler, Gauss, D. Bernoulli, Cauchy, Poincarè, von Neumann), siano considerati anche fisici. Analogamente, i matematici che hanno inventato la probabilità sono stati scienziati che hanno studiato il gioco, le scommesse, la demografia, le assicurazioni, la genetica di popolazione, l'informatica, la teoria cinetica dei gas, la termodinamica.

*Insomma, parliamo di scienziati che usano e talvolta inventano la matematica utile a descrivere fenomeni complessi. Uno di questi è **Martin Hairer** che nel 2014 ha vinto la medaglia Fields per aver dato un senso rigoroso alle soluzioni dell'**equazione differenziale stocastica** KPZ, dovuta ai fisici M. Kardar, G. Parisi, e Y.-C. Zhang, che descrive la crescita delle superfici, come il fronte di fiamma di un incendio, le superfici di agglomerati colloidali, le superfici*

tumorali. Un altro esempio è quello di **Alessio Figalli** che ha ottenuto la medaglia Fields nel 2018 per i suoi risultati nel campo del **calcolo delle variazioni** e nella teoria del **trasporto ottimo**. Questa, introdotta da Monge e Kantorovic per applicazioni a problemi di allocazione di risorse e di economia, si è in seguito rivelata un potente strumento matematico per affrontare vari questioni di natura geometrica e di analisi funzionale. Infine, le applicazioni della matematica alle leggi della **meccanica quantistica** sono alla base dello sviluppo dei computer quantistici così come dei materiali di nuova generazione dell'elettronica, come il grafene.

Questo legame stretto tra teoria e realtà ha un formidabile aspetto formativo. Infatti la matematica mette a disposizione infinite tecniche, belle e generali, e proprio il rapporto con il fenomeno in studio può aiutare a selezionare quelle più rilevanti e significative, e talvolta crearne di nuove

OBIETTIVI

Il curriculum di Matematica Applicata per le Scienze, offre una formazione approfondita sugli **strumenti analitici, probabilistici e fisico-matematici** utilissimi a chiunque voglia fare matematica applicata, sia nelle altre scienze che nei contesti lavorativi. Inoltre permette di acquisire competenze in vari importanti ambiti di queste discipline, sia più applicativi che più teorici (calcolo delle variazioni, processi stocastici, teorie cinetiche, meccanica quantistica, meccanica statistica, sistemi dinamici) preparando alla ricerca applicata e teorica in matematica.

IN CONCRETO

Il curriculum MApS fornisce le basi per la formazione matematica avanzata attraverso i corsi di **Istituzioni** da 9 CFU in **analisi matematica, analisi numerica, fisica matematica e probabilità**. Inoltre è previsto il corso da 6 CFU di **elementi di fisica teorica** che completa la formazione sulla fisica moderna, con lo studio dei principi fisici della meccanica statistica e della meccanica quantistica.

Per favorire una preparazione ad ampio spettro, il curriculum MApS offre molti corsi da 6 CFU, con cui specializzare la propria formazione.

CORSI CARATTERIZZANTI DA 6 CFU

Analisi funzionale. Introduzione agli aspetti funzionali dell'analisi matematica.

Calcolo delle variazioni. Principali strumenti analitici per lo studio dei problemi variazionali. Metodo diretto del calcolo delle variazioni, Gamma convergenze e analisi asintotiche. Vari esempi di analisi di problemi applicati alle scienze.

Stochastic calculus and applications (ENG). Introduzione al moto browniano e alla misura di Wiener. Calcolo di Ito. Equazioni differenziali stocastiche.

Equazioni alle derivate parziali. Studio di alcuni aspetti analitici delle equazioni differenziali della fisica matematica.

Metodi matematici in meccanica quantistica. Introduzione al formalismo matematico della meccanica quantistica con particolare attenzione alla teoria degli operatori illimitati autoaggiunti e alla rappresentazione dei gruppi di simmetrie.

Metodi matematici in meccanica statistica. Introduzione agli ensemble statistici, misure di Gibbs, transizioni di fase, modello di Ising.

Processi stocastici. Introduzione ai processi markoviani. Catene di Markov, generatori, teoria del potenziale, sistemi di particelle interagenti.

Sistemi dinamici. Flussi, stabilità e comportamento asintotico. Sistemi caotici. Teoria ergodica.

Meccanica dei fluidi e teorie cinetiche. Introduzione alle equazioni della meccanica dei sistemi continui. Equazioni di Eulero e Navier-Stokes per i flussi incomprimibili. Vorticità e modello a vortici. Flussi comprimibili e shock.

La scelta di alcuni di questi corsi, insieme alla scelta del quarto corso di Istituzioni, caratterizzerà l'orientamento del piano di studi.

ESEMPI DI INDIRIZZO DEI PIANI DI STUDI

La flessibilità di scelta sia nei corsi di Istituzioni da 9 CFU che nei corsi da 6 CFU permette di orientare in varie direzioni il proprio piano studi. Seguono esempi di queste direzioni che si collocano in

alcune ricche aree della matematica applicata. Suggerimenti più dettagliati per articolare il piano di studi verranno forniti successivamente.

Meccanica quantistica

La moderna comprensione del mondo microfisico - dai sistemi atomici e molecolari, fino ai solidi sintetizzati in laboratorio e alle particelle che appaiono negli esperimenti ad alta energia - è fondata sulle equazioni della meccanica quantistica e sull'analisi delle loro simmetrie. Lo studente di questo orientamento è guidato attraverso il formalismo matematico della meccanica quantistica, dagli aspetti fondativi fino alle applicazioni a concreti sistemi fisici. Corsi caratterizzanti: **Metodi matematici in meccanica quantistica, Metodi matematici in meccanica statistica, Sistemi dinamici, Analisi funzionale.**

Meccanica statistica

La meccanica statistica nasce per spiegare leggi fisiche macroscopiche, come per esempio quelle della termodinamica, a partire da dinamiche microscopiche. In questo ambito, sono stati sviluppati metodi matematici avanzati, probabilistici e non. Chi sceglie questo indirizzo affronterà uno studio rigoroso dei metodi della meccanica statistica, che oggi sono utilizzati in nuovi e importanti campi applicativi.

Corsi caratterizzanti: **Metodi matematici in meccanica statistica, Calcolo delle variazioni, Calcolo stocastico e applicazioni.**

Metodi probabilistici

Il calcolo della probabilità e la statistica matematica sono gli strumenti alla base della comprensione dei fenomeni aleatori. In questo indirizzo vengono introdotte teorie avanzate per lo studio dei processi casuali, che oltre a essere una parte vitale della ricerca matematica, è fondamentale nelle moderne discipline applicative.

Corsi caratterizzanti: **Stochastic calculus and applications, Processi stocastici, Calcolo delle variazioni.**

Metodi variazionali

Per chi vuole approfondire gli aspetti analitici delle applicazioni della matematica alle scienze, con particolare riferimento ai principi variazionali alla base del paradigma della scienza moderna secondo cui un sistema fisico può essere descritto dalle configurazioni di

equilibrio o dall'evoluzione temporale di opportuni *funzionali* (per esempio l'**azione** e l'**energia**).

Corsi caratterizzanti: **Calcolo delle Variazioni, Metodi matematici in meccanica statistica, Equazioni alle derivate parziali.**

Teorie cinetiche

La descrizione alle varie scale macroscopiche di sistemi di particelle è un campo teorico e applicativo di grande interesse, e richiede competenze avanzate in molti rami della matematica (fisica matematica, probabilità, analisi). In questo indirizzo si affronta lo studio delle equazioni cinetiche e delle fluidodinamica e la loro relazione con i sistemi di particelle. Inoltre i metodi sviluppati trovano un vasto campo di applicazione nello studio dei noti collettivi di agenti viventi (stormi, sciame, folle), su cui si concentrano oggi molti sforzi della modellistica matematica.

Corsi caratterizzanti: **Metodi matematici della meccanica statistica, Calcolo delle variazioni, Meccanica dei fluidi e teorie cinetiche.**

ATTIVITÀ COMPLEMENTARI

Seminario MOMA - Modelli Matematici per le Applicazioni <http://www1.mat.uniroma1.it/ricerca/seminari/moma/>

STRUTTURA DEL CURRICULUM

4 CORSI DA 9 CFU:

- **Istituzioni di Analisi superiore**
- **Istituzioni di Probabilità**
- **Istituzioni di Fisica Matematica**

1 a scelta tra in **IST: gruppo delle istituzioni**

Istituzioni di Algebra e Geometria
Istituzioni di Analisi Numerica
Istituzioni di Geometria Superiore
Istituzioni di Algebra Superiore

6 CORSI DA 6 CFU SPECIFICI PER IL CURRICULUM MAPS

- **Elementi di fisica teorica**

1 a scelta in **GAN: gruppo analitico**: Analisi funzionale/
Calcolo delle variazioni/ Modelli analitici per le applicazioni

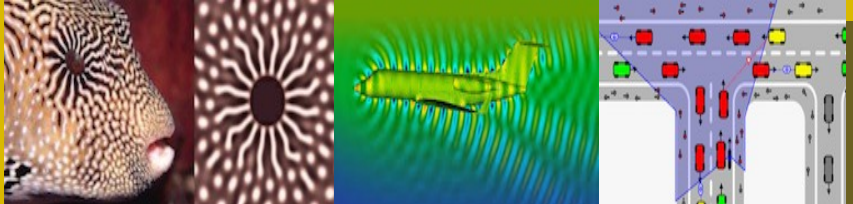
2 a scelta in **GAP: gruppo applicato**: Stochastic calculus and applications (ENG)/ Meccanica dei fluidi e teorie cinetiche/
Metodi matematici in meccanica quantistica/ Metodi matematici in meccanica statistica/ Metodi numerici per le

equazioni alle derivate parziali non lineari/ Processi stocastici/
Sistemi dinamici

1 a scelta nel **GAG: gruppo analitico-geometrico**: Fourier analysis (ENG)/ Analisi funzionale/ Calcolo delle variazioni/
Equazioni alle derivate parziali/ Geometria riemanniana/
Advanced Topics in Geometry (ENG)/ Modelli analitici per le applicazioni/ Teoria del controllo

1 a scelta in **GIN: gruppo integrativo**: Fourier analysis (ENG)/ Advanced Topics in Analysis (ENG)/ Analisi non lineare/
Stochastic calculus and applications (ENG)/ Elementi di probabilità e statistica per Data Science/ Computational Mathematics (ENG)/ Meccanica dei fluidi e teorie cinetiche/
Metodi matematici in meccanica quantistica/ Metodi matematici in meccanica statistica/ Metodi numerici per le equazioni alle derivate parziali non lineari/ Modelli analitici per le applicazioni/ Mathematical Models for Neural Networks/
Processi stocastici/ Statistica matematica/ Sistemi dinamici/ Teoria del controllo

Modellistica Numerica Differenziale - MoND



La modellistica è spesso sviluppata in ambiti molto diversi attraverso strumenti matematici comuni basati sulle equazioni differenziali ordinarie ed alle derivate parziali. Questi modelli puntano a predire l'evoluzione nel tempo di un fenomeno a partire da alcune condizioni iniziali. Basti pensare ai modelli che descrivono le reazioni chimiche e la formazioni di pattern particolari in natura o la dinamica dell'aria intorno alle ali di un aeroplano, solo per citare alcuni classici esempi. La grande novità degli ultimi 50 anni è data dall'enorme sviluppo della modellistica differenziale in medicina, biologia e nelle scienze economiche e scienze. La capacità predittiva di questi modelli serve infatti a descrivere vari fenomeni come la crescita cellulare, il traffico su una rete (stradale o Internet), la formazione delle opinioni in un social network e a definire il corretto prezzo delle opzioni nei mercati finanziari o il controllo ottimale del movimento di un robot.

Lo studio di questi modelli, lineari e non lineari, ha anche motivato lo sviluppo di teorie avanzate per l'analisi dei sistemi corrispondenti insieme alla costruzione e all'analisi dei metodi numerici che permettono di ottenere soluzioni approssimate con un alto grado di accuratezza. Nelle applicazioni infatti è raro trovare una soluzione di problemi complessi in forma analitica ed è molto più frequente l'uso di uno schema numerico per ottenere una soluzione approssimata del problema. Perché la soluzione calcolata sia effettivamente utile occorre però sapere quale sia il suo grado di affidabilità, cioè occorre rispondere ad alcune domande fondamentali: il modello che abbiamo scelto descrive le caratteristiche fondamentali del sistema? Che tipo di soluzione ci dobbiamo aspettare e sotto quali condizioni? La soluzione

approssimata è vicina alla soluzione esatta? Possiamo stimare l'errore che commettiamo usando uno schema numerico? Come si implementa effettivamente uno schema numerico in modo efficiente per ottenere questa approssimazione in tempi rapidi e con limitate risorse di calcolo? La risposta a queste domande è fondamentale per poter utilizzare la modellistica matematica in ambito industriale e tecnologico. Per questo motivo che la costruzione dei modelli e dei metodi numerici è andata spesso di pari passo ed alcuni importanti matematici hanno sviluppato algoritmi di soluzione per i problemi che stavano studiando (ad esempio Gauss, Eulero, Lagrange, Godunov). In alcuni casi hanno partecipato anche alla progettazione degli strumenti di calcolo, come von Neumann che partecipò alla costruzione del primo grande calcolatore elettronico (ENIAC) alla fine della seconda guerra mondiale.

Il recente sviluppo degli strumenti tecnologici, l'ampliamento delle reti di comunicazione e di calcolo, l'aumento della potenza dei processori ha aperto nuove frontiere alle applicazioni della matematica in campi anche lontanissimi ed offre soluzioni semplici accessibili a tutti. Solo guardando quello che avete sul cellulare potete farvi un'idea della potenza di questi metodi che usate quotidianamente senza pensarci troppo e che in passato avrebbero richiesto l'uso di grandi centri di calcolo. Quando cercate la strada migliore per tornare a casa, quando ritoccate una foto o quando cercate un'informazione su WEB attraverso delle parole chiave state usando alcuni di questi algoritmi. Altre applicazioni, più complesse e basate su una notevole mole di dati, sono ormai alla portata dei nuovi sistemi di calcolo parallelo e distribuito e delle Graphic Processing Unit (dette GPU).

OBIETTIVI

*L'obiettivo di questo curriculum è quello di **formare persone capaci di analizzare e valutare un modello avendo anche una approfondita conoscenza delle tecniche numeriche per ottenere una soluzione quantitativa del problema.** Si tratta di una formazione avanzata che può essere utilizzata in molti ambiti (economico/finanziario, medico, biologico, fisico e ingegneristico) e che può anche portare allo sviluppo di nuovi metodi ed algoritmi. I laureati in questa area, presente da molti anni nella laurea in Matematica Applicata alla*

Sapienza, trovano facilmente lavoro sia in ambito industriale che in ambito accademico nelle migliori università italiane e straniere proprio perché hanno competenze varie, tra di loro complementari, per affrontare e risolvere i problemi legati alla modellistica matematica. A questo scopo, molti dei corsi prevedono esercitazioni in laboratorio e lo sviluppo di progetti. È anche incoraggiata la scelta di corsi fuori dell'area matematica per approfondire almeno un'area legata alle applicazioni.

IN CONCRETO

Il curriculum prevede un completamento della formazione di base in varie aree importanti, attraverso i corsi di **Istituzioni** da 9 CFU in **analisi matematica, analisi numerica, fisica matematica, probabilità**. Seguono alcuni corsi caratterizzanti per approfondire le tecniche e le applicazioni. Tra questi, due corsi sono comuni a tutti i piani di studio: **Modelli analitici per le applicazioni** e **Metodi numerici per le equazioni alle derivate parziali**

CORSI CARATTERIZZANTI DA 6 CFU

Fourier Analysis (ENG): Trasformata di Fourier in L^2 e in S' e Trasformata di Fourier discreta, cenni di teoria delle Wavelets. Proprietà dispersive di alcune equazioni della Fisica Matematica (Schrödinger, onde, KdV). Teoria dei segnali,

Calcolo delle variazioni: Principali strumenti analitici per lo studio dei problemi variazionali. Metodo diretto del calcolo delle variazioni, Gamma convergenze e analisi asintotiche. Vari esempi di analisi di problemi applicati alle scienze.

Computational Mathematics (ENG): Il corso presenta vari aspetti numerici avanzati. Il programma varia di anno in anno ed affronta temi diversi che spaziano dalla analisi ed approssimazione degli autovalori per sistemi di grandi dimensioni (QR, Krylov, Arnoldi) ai metodi probabilistici (Montecarlo, cinetici, Uncertainty Quantification) per arrivare ai metodi numerici di ottimizzazione in dimensione finita (metodi di discesa, punto interno, semplice).

Metodi numerici per le equazioni alle derivate parziali: Il corso presenta i risultati principali e gli schemi numerici relativi alla loro approssimazione, la valutazione degli errori e della complessità di calcolo, la implementazione degli algoritmi con

esercitazioni di laboratorio per la soluzione di alcuni modelli classici.

Metodi numerici per le EDP non lineari: Principali metodi numerici per lo studio delle leggi di conservazione e delle equazioni di Hamilton-Jacobi. Metodi alle differenze finite, volumi finiti e semi-lagrangiani. Applicazioni a gasdinamica, fluidodinamica, traffico, immagini e controllo ottimo.

Modelli analitici per le applicazioni: Modelli evolutivi basati su equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali. Introduzione alla modellizzazione di fenomeni importanti come il trasporto, la diffusione, la interazione tra specie (chimiche, biologiche,...).

Teoria del controllo: Introduzione alla teoria del controllo di sistemi differenziali lineari e non lineari. Teoria delle equazioni di Hamilton-Jacobi. Applicazioni.

ESEMPI DI INDIRIZZO DEI PIANI DI STUDI

Nell'ambito di questo curriculum sono possibili sia orientamenti più teorici in Analisi Numerica e Modelli Differenziali Analitici, sia orientamenti fortemente indirizzati alla modellizzazione nelle applicazioni.

INDIRIZZI TEORICI

Analisi Numerica

Lo sviluppo e l'analisi dei metodi numerici è il tema principale di questo indirizzo che si concentra sui principali risultati per l'approssimazione di sistemi lineari, equazioni differenziali lineari e non lineari, autovalori, metodi di ottimizzazione. Verranno approfonditi i risultati teorici relativi alla convergenza ed alle stime dell'errore oltre ad alcune applicazioni significative.

Corsi suggeriti: **Computational Mathematics, Metodi numerici per le EDP non lineari, Processi stocastici**, un corso di area informatica a scelta in una lista di esami consigliati.

Modelli differenziali analitici

Questo piano di studio permette di approfondire lo studio dei principali modelli analitici basati su equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali. Inoltre verranno presentate applicazioni rilevanti nell'ambito dell'analisi matematica.

Corsi suggeriti: **Fourier Analysis, Teoria del controllo, Calcolo delle variazioni, Stochastic Calculus and Applications.**

ALCUNI ESEMPI DI INDIRIZZI MODELLISTICI

Modellistica biomedica ed epidemiologica

Questo indirizzo permette di approfondire lo studio analitico e l'approssimazione dei principali modelli utilizzati in ambito biomedico ed epidemiologico, quali ad esempio la crescita cellulare, la diffusione ed il controllo delle epidemie, la formazione di pattern nelle scienze naturali.

Corsi suggeriti: **Metodi numerici per le EDP non lineari, Processi stocastici, Teoria del controllo**, un corso di area biomedica a scelta in una lista di esami consigliati.

Modellistica socio-economica

Questo indirizzo permette di approfondire lo studio analitico e l'approssimazione dei principali modelli utilizzati in ambito economico e finanziario, quali ad esempio i modelli macroeconomici, i modelli dei mercati finanziari, l'allocazione ottima delle risorse.

Corsi suggeriti: **Teoria del controllo, Metodi numerici per le EDP non lineari, Computational Mathematics, Stochastic Calculus and Applications.**, un corso di area economia e finanza a scelta in una lista di esami consigliati.

Modelli per l'ingegneria

L'obiettivo di questo indirizzo è quello di approfondire lo studio analitico e l'approssimazione dei principali modelli utilizzati in ambito ingegneristico, quali ad esempio la fluidodinamica, i modelli di traffico, la robotica, la visione artificiale, il trattamento delle immagini.

Corsi suggeriti: **Fourier Analysis, Teoria del controllo, Meccanica dei fluidi e teorie cinetiche, Metodi numerici per le EDP non lineari, Computational Mathematics**, un corso di area ingegneristica a scelta in una lista di esami consigliati.

ATTIVITÀ COMPLEMENTARI

Seminario di Analisi Matematica

<https://www.mat.uniroma1.it/ricerca/seminario-analisi-matematica>

Seminario di Modellistica Differenziale Numerica

<http://www1.mat.uniroma1.it/ricerca/seminari/mdn/>

Seminario MOMA - Modelli Matematici per le Applicazioni

<http://www1.mat.uniroma1.it/ricerca/seminari/moma/>

STRUTTURA DEL CURRICULUM

4 CORSI DA 9 CFU

- **Istituzioni di Analisi superiore**
- **Istituzioni di Probabilità**
- **Istituzioni di Fisica Matematica**
- **Istituzioni di Analisi Numerica**

2 CORSI DA 6 CFU

- **Modelli analitici per le applicazioni**
- **Metodi numerici per le equazioni alle derivate parziali**

4 CORSI DA 6 CFU A SCELTA, SPECIFICI PER IL CURRICULUM

- 1 a scelta nel **gruppo numerico per MoND**: Metodi numerici per le equazioni alle derivate parziali non lineari/ Computational Mathematics (ENG).
- 1 a scelta nel **gruppo applicato per MoND**: Processi stocastici/ Stochastic calculus and applications (ENG)/ Meccanica dei fluidi e teorie cinetiche/ Sistemi dinamici.
- 1 a scelta nel **gruppo integrativo analitico per MoND**: Calcolo delle Variazioni/ Fourier Analysis/ Teoria del controllo.
- 1 a scelta nel **gruppo integrativo per MoND** costituito dai gruppi numerico, applicato, integrativo analitico.

Matematica per Data Science - MaDS



Storicamente la matematica ha dato, e dà tuttora, contributi fondamentali al problema della trasmissione sicura dell'informazione attraverso la **crittografia**, che ha le sue basi nella teoria dei numeri. Inoltre i matematici hanno sviluppato tecniche e algoritmi per l'**analisi** e il **trattamento di dati**, che hanno applicato alle ricerche delle parole chiave in un testo o di oggetti in **cataloghi multimediali**, al **trattamento delle immagini**, all'analisi del **flusso di dati sulle reti**, all'analisi di **sequenze dati naturali**, per esempio biometrici, meteorologici o sismici. Negli ultimi anni l'esplosione delle tecniche di **Deep Learning** nelle applicazioni ha aggiunto nuovi strumenti, e sembra suggerire che, per ottenere risposte su un fenomeno in esame, basti far leggere i relativi dati a opportuni **algoritmi intelligenti**. Tuttavia, risposte ottenute senza un reale controllo su queste black-box non permettono di valutarne l'affidabilità, che è invece indispensabile per un vero progresso delle conoscenze. L'**affidabilità** è inoltre cruciale nelle applicazioni in contesti in cui le risposte contribuiscono a decisioni di grande impatto sociale, come è il caso di diagnosi e terapie mediche. Per questo è necessario capire come funzionano questi algoritmi, quali elementi del fenomeno prendono in considerazione, e come li elaborano. È altrettanto importante confrontare pregi e limiti di questi strumenti in relazione alla modellistica matematica, perché l'interazione tra i due approcci permette di migliorare conoscenze e qualità delle applicazioni.

OBIETTIVI

Laureate e laureati con una solida e avanzata preparazione in matematica possono avere un ruolo importante in queste sfide, sono in grado di **comprendere i fondamentali** su cui si basano

queste nuove tecniche e conoscono le **potenzialità esplicative e predittive** degli strumenti matematici coinvolti.

L'obiettivo del curriculum è formare matematiche e matematici con ampie competenze nei settori dell'**algebra**, della **probabilità**, della **statistica** della **fisica matematica**, dell'**analisi numerica**, della **ricerca operativa**, che siano in grado di affrontare e risolvere i problemi posti nell'ambito della **Data Science**. Svilupperemo negli anni questo nuovo curriculum, anche approfondendo l'interazione con i corsi di studio che offrono insegnamenti più specializzati. Per questo motivo incoraggiamo l'inserimento nel piano di studi anche di corsi esterni in linea con queste applicazioni.

IN CONCRETO

Il curriculum MaDS fornisce le basi per la formazione matematica avanzata attraverso i corsi di **Istituzioni** da 9 CFU di **algebra e geometria**, **probabilità**, **analisi numerica**, **programmazione matematica** (ricerca operativa), e con il corso di **statistica matematica** da 6 CFU.

L'ossatura della formazione matematica nella direzione della **data science**, è formata da corsi di **algebra**, **probabilità**, **statistica**, **fisica matematica**, **analisi numerica**, tra cui si può scegliere a seconda dei propri interessi.

Analisi di sequenze dati: è un corso di strumenti statistici, probabilistici, informatici, per lo studio di modelli di serie temporali di dati (per esempio dati biometrici, geologici, o generati da attività umane come le sequenze di simboli di un testo).

Combinatorics (ENG): il corso si propone di introdurre i concetti fondamentali di teoria dei grafi, sempre più utilizzata in vaste aree applicative, dalle reti mobili, al traffico di dati, al web: grafi semplici, planarità, invarianti di grafi, grafi orientati, teoria di Ramsey, cenni sui grafi random.

Data mining: il corso illustra alcune tecniche di algebra lineare numerica, molto utilizzate nell'estrazione di informazioni utili da grandi quantità di dati (data mining). Verranno affrontati alcuni problemi importanti nelle applicazioni: compressione, classificazione, clustering. Per risolverli è necessario affrontare in spazi di dimensione enorme la risoluzione numerica di sistemi lineari, i problemi agli

autovalori e valori singolari, il calcolo di funzioni di matrici e la gestione di grafi.

Elementi di probabilità e statistica per data science: nei corsi introduttivi alla probabilità e alla statistica, si considerano grandi quantità di dati in spazi di poche dimensioni (una o due). Questo corso introduce ai modelli e alle tecniche matematiche per lo studio di dati in spazi di alta dimensione, che è una delle caratteristiche peculiari dei "Big Data".

Matematica discreta: combinatoria enumerativa (principio di Inclusione-esclusione, le serie generatrici, i "rook polynomials"); teoria degli insiemi parzialmente ordinati e dei reticoli; combinatoria delle permutazioni; statistiche di permutazioni; permutazioni random.

Mathematical Models for Neural Networks (ENG): introduzione allo studio delle reti neurali artificiali, in particolare reti ad attrattori (utilizzate come modelli di memoria associativa) e reti multistrato (utilizzate nell'apprendimento automatico) e agli algoritmi utilizzati per l'addestramento e il funzionamento di queste reti. Strumenti matematici per lo studio e il controllo di questi sistemi, derivanti prevalentemente dalla meccanica statistica, dalla teoria della probabilità e dalla statistica matematica.

Inoltre sarà indispensabile conoscere l'approccio informatico, e per questo sono offerti i corsi di **Teoria degli algoritmi**, incentrato sugli aspetti matematici e fondazionali del Machine Learning, e **Cryptography (ENG)**, che introduce alla crittografia.

ESEMPI DI INDIRIZZO DEI PIANI DI STUDI

Il contributo trasversale delle varie discipline matematiche all'interno di questo curriculum può essere organizzato in 3 principali direzioni.

Modelli matematici per la data science

Questo percorso fornisce una solida base matematica per lo studio dei recenti modelli usati per l'analisi dei dati, in particolare per i dati in alta dimensione.

Corsi caratterizzanti: **Mathematical Models for Neural Networks**, **Elementi di probabilità e statistica per Data Science**, **Teoria degli algoritmi**

Matematica discreta e crittografia

Questo percorso presenta i metodi di modellizzazione discreta, algebrico/geometrici e numerico/informatici, che trovano applicazione nello studio di problemi su reti e nella sicurezza informatica.

Corsi caratterizzanti: **Matematica discreta**, **Data mining**, **Teoria dei codici**, **Combinatorics**

Analisi e trattamento dei dati

Questo percorso si concentra sulle principali tecniche matematiche per trattare dati, utili per in molte applicazioni.

Corsi caratterizzanti: **Processi stocastici**, **Analisi di sequenze dati**, **Data mining**

STRUTTURA DEL CURRICULUM

4 CORSI DA 9 CFU

- **Istituzioni di Algebra e geometria**
- **Istituzioni di Probabilità**
- **Programmazione matematica**
- **Istituzioni di Analisi numerica**

1 CORSO DA 6 CFU

- **Statistica matematica**

5 CORSI DA 6 CFU

- 1 a scelta nel **gruppo applicato per MaDS**: Analisi di sequenze dati/ Data mining/ Elementi di probabilità e statistica per data science/ Mathematical Models for Neural Networks
- 1 a scelta nel **gruppo algebrico per MaDS**: Combinatorics/ Matematica discreta.
- 1 a scelta nel **gruppo informatico per MaDS**: Teoria degli algoritmi/ Cryptography
- 2 a scelta le **gruppo integrativo per MaDS** formato dai corsi nei gruppi applicato, algebrico, informatico e da Computational mathematics/ Metodi matematici in meccanica statistica/ Processi stocastici.

ATTIVITÀ COMPLEMENTARI

Seminario MOMA - Modelli Matematici per le Applicazioni
<http://www1.mat.uniroma1.it/ricerca/seminari/moma/>