



# MaDS: Matematica per Data Science

# MIA: Matematica per l'Intelligenza artificiale



## GUIDA AI PIANI DI STUDIO 2025-2026

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**. Infine, in tempi recentissimi, l'intelligenza artificiale ha raggiunto risultati straordinari con i **LLM**. 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 della conoscenza, ed è cruciale in contesti in cui le risposte contribuiscono a decisioni di grande impatto sociale, come è il caso di diagnosi e terapie mediche. Un controllo matematico può inoltre garantire la **scalabilità** degli algoritmi e permettere l'ottimizzazione dei modelli e delle risorse, riducendo il consumo energetico ed i tempi di computazione, per un'intelligenza artificiale più efficiente e **sostenibile**. Per questo è necessario progredire verso l'**eXplainable IA**, cioè 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 fondamenti** su cui si basano queste nuove tecniche e conoscono le **potenzialità esplicative e predittive** degli strumenti matematici coinvolti.

L'obiettivo dei due curricula è formare matematiche e matematici con ampie competenze nei settori dell'**algebra**, della **probabilità**, della **statistica** della **fisica matematica**, dell'**analisi numerica**, che siano in grado di affrontare e risolvere i problemi posti nell'ambito della **Data Science** e dell'**Intelligenza artificiale**.



Il curriculum MaDS si differenzia da MIA per la presenza di corsi obbligatori di analisi numerica e di ottimizzazione per chi non li ha seguiti in triennale.

## COSA C'È IN MADS E MIA

La formazione che proponiamo si alimenta di insegnamenti di matematica e insegnamenti di altre discipline indirizzate alla Data Science e all'Intelligenza artificiale.

### CORSI DI MATEMATICA PER LA DATA SCIENCE

La formazione matematica nella direzione della **Data Science** è fornita da corsi di **algebra**, **probabilità**, **fisica matematica**, **analisi numerica**, **ricerca operativa**, tra cui si può scegliere a seconda dei propri interessi.

#### **Algebra**

**Istituzioni di algebra e geometria:** introduzione all'analisi topologica dei dati alla crittografia.

**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.

**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.

#### **Probabilità**

**Statistica matematica:** introduzione ai principali metodi classici dell'analisi statistica dei dati e dei test di ipotesi.

**Probabilità e statistica in alta dimensione:** 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".

#### **Fisica matematica**

**Quantum Machine Learning:** il corso si propone di introdurre i principi della computazione quantistica e le sue applicazioni al Machine Learning.

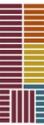
**Mathematical Models for Neural Networks (ENG):** introduzione allo studio delle reti neurali artificiali, in particolare reti ad attrattori (utilizzate come modelli di memoria associativa) e reti multistrato (utilizzate nell'apprendimento automatico) e agli algoritmi utilizzati per l'addestramento 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.

#### **Analisi numerica**

**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).

#### **Ricerca operativa**

**Programmazione matematica:** introduzione all'ottimizzazione discreta e applicazioni all'addestramento delle reti.



## CORSI DI INFORMATICA, INGEGNERIA INFORMATICA, FISICA, PER DATA SCIENCE

La formazione più applicata alla **Data Science** è fornita da corsi integrativi tra cui si può scegliere a seconda dei propri interessi. Alcuni di questi corsi sono l'**ideale seguito** di corsi della triennale in Scienze matematiche per l'intelligenza artificiale.

**Teoria degli algoritmi:** corso incentrato sugli aspetti matematici e fondazionali del Machine Learning.

**Cryptography** (ENG, erogato nel CdS in Computer Science): fondamenti della crittografia, metodologia della sicurezza dimostrabile, che permette di dimostrare la sicurezza dei moderni crittosistemi in senso matematico.

**Advanced Machine Learning for Physics** (ENG, erogato nel CdS in Physics) tecniche avanzate di deep learning basato su modelli di reti neurali differenziabili con paradigmi di apprendimento supervisionato, non supervisionato e rinforzato.

**Deep learning and applied artificial intelligence** (ENG, erogato nel CdS in Computer Science): reti neurali profonde, il loro addestramento e l'interpretazione dei risultati; reti convoluzionali e architetture prominenti; teoria del deep learning con particolare riferimento a questioni di convergenza.

**Generative AI** (ENG, erogato nel CdS in Intelligenza artificiale e robotica): introduzione ai LLM.

## CORSI DI MATEMATICA INTEGRATIVI E DI APPROFONDIMENTO

**Istituzioni di probabilità:** approccio rigoroso alla teoria della probabilità, introduzione ai processi stocastici discreti e continui.

**Istituzioni di analisi numerica:** conoscenze in algebra lineare numerica e modellistica numerica per problemi differenziali.

**Computational Mathematics:** approcci multiscala per sistemi multi-agente: modelli di traffico, dinamica di opinioni, etc..

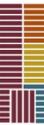
**Stochastic Calculus and Applications:** proprietà fondamentali dei processi di diffusione, calcolo stocastico, applicazioni.

**Metodi matematici in Meccanica statistica:** approccio rigoroso alla meccanica statistica di equilibrio.

**Processi stocastici:** processi stocastici a tempo discreto e a tempo continuo, su strutture discrete quali ad esempio grafi oppure su spazi continui.

**Fourier Analysis:** trasformata di Fourier continua e discreta, serie di Fourier, wavelets, e loro uso in alcuni ambiti teorici e pratici (equazioni differenziali, trattamento di immagini, teoria dei segnali).

**ATTENZIONE** l'ampia possibilità di scelta nei corsi rende difficile garantire che non ci sia sovrapposizione oraria tra tutti i corsi suggeriti, e questa difficoltà è in particolare vera per i corsi di informatica che sono erogati da altri corsi di studio. Per ogni difficoltà di questo genere, se non sono possibili aggiustamenti dell'orario, avrete la massima disponibilità a modificare il piano di studi in ogni momento in cui fosse necessario.



## Struttura di MaDS

### ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE

**Istituzioni di probabilità** (9 CFU)

**Istituzioni di analisi numerica** (9 CFU)

**Statistica matematica** (6 CFU)

**Istituzioni di algebra e geometria** (9 CFU)

**Programmazione matematica** (9 CFU)

**Inglese scientifico** (4 CFU, idoneità)

**Altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro** (3 CFU, idoneità)

**prova finale** (29 CFU)

### CORSI OPZIONALI SPECIFICI DELL'INDIRIZZO

i corsi contrassegnati con **ENG** sono impartiti in lingua inglese

- un corso nel gruppo **MaDS/B applicato**:

**Quantum Machine Learning**

**Data mining**

**Mathematical Models for Neural Networks** **ENG**

**Elementi di probabilità e statistica per Data Science**

- un corso nel gruppo **MaDS/B algebrico**:

**Combinatorics** **ENG**

**Matematica discreta**

- un corso nel gruppo **MaDS/C informatico**:

**Teoria degli algoritmi**

**Generative AI** **ENG**

**Cryptography** **ENG**

**Advanced Machine Learning for Physics** **ENG**

**Deep learning and applied artificial intelligence** **ENG**

- due corsi nel gruppo **MaDS-MAI/C integrativo**:

**MaDS/B applicato**

**Fourier Analysis** **ENG**

**Processi stocastici**

**MaDS/B algebrico**

**Computational Mathematics** **ENG**

**Metodi matematici in meccanica statistica**

**MaDS/C informatico**

- Negli esempi di piani di studio, ci sono solo quelli MADS. E i MIA, poverini?  
**Stochastic Calculus and Applications**

IL PIANO VA COMPLETATO CON 12 CFU LIBERI A SCELTA.

## Struttura di MIA

### ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE

**Istituzioni di probabilità** (9 CFU)    **Istituzioni di algebra e geometria** (9 CFU)  
**Statistica matematica** (6 CFU)

**Inglese scientifico** (4 CFU, idoneità)

**Altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro** (3 CFU, idoneità)  
**prova finale** (29 CFU)

### CORSI OPZIONALI SPECIFICI DELL'INDIRIZZO

i corsi contrassegnati con **ENG** sono impartiti in lingua inglese

- due corsi nel gruppo **MaDS/B applicato**:

**Quantum Machine Learning**    **Mathematical Models for Neural Networks** **ENG**  
**Data mining**    **Probabilità e statistica in alta dimensione**

- un corso nel gruppo **MaDS/B algebrico**:

**Combinatorics** **ENG**    **Matematica discreta**

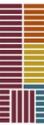
- un corso nel gruppo **MaDS/C informatico**:

**Teoria degli algoritmi**    **Advanced Machine Learning for Physics** **ENG**  
**Generative AI** **ENG**    **Deep learning and applied artificial intelligence** **ENG**  
**Cryptography** **ENG**

- quattro corsi nel gruppo **MaDS-MAI/C integrativo**:

**MaDS/B applicato**    **MaDS/B algebrico**    **MaDS/C informatico**  
**Fourier Analysis** **ENG**    **Computational Mathematics** **ENG**  
**Processi stocastici**    **Metodi matematici in meccanica statistica**  
**Stochastic Calculus and Applications**

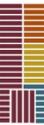
IL PIANO VA COMPLETATO CON 12 CFU LIBERI A SCELTA.



## DISTRIBUZIONE DEI CORSI NEI SEMESTRI

Questo è lo schema delle **scelte distribuite nei due semestri**. Si noti che, in linea generale, i corsi del I anno richiedono meno prerequisiti dei corsi del II anno, che sono più specialistici e avviano alla tesi. Nella formazione del piano di studi si **raccomanda di considerare i prerequisiti** indicati dai docenti dei singoli corsi che si intende seguire.

Esami	I anno I semestre	I anno II semestre	II anno I semestre
Obbligatori da 9 cfu	<b>istituzioni di probabilità</b>  <b>Ist. di algebra e geometria</b>		
Obbligatori solo MaDS da 9 CFU	<b>Istituzioni di analisi numerica</b>	<b>Programmazione matematica</b>	
Obbligatori da 6	<b>Statistica matematica</b>		
1 MaDS / 2 MIA nel gruppo applicato		Quantum Machine Learning  Data Mining	Mathematical Models for Neural Networks  Probabilità e statistica in alta dimensione
1 nel gruppo algebrico		Matematica discreta	Combinatorics
1 nel gruppo informatico		Teoria degli algoritmi  Generative AI  Deep learning and applied artificial intelligence  Advanced machine learning for physics	Cryptography
2 MaDS / 4 MIA nel gruppo integrativo		Quantum Machine Learning  Data Mining  Matematica discreta  Teoria degli algoritmi  Generative AI  Deep learning and applied artificial intelligence  Advanced machine learning for physics  Computational Mathematics  Metodi matematici in meccanica statistica  Processi stocastici	Mathematical Models for Neural Networks  Probabilità e statistica in alta dimensione  Combinatorics  Cryptography  Fourier Analysis Stochastic Calculus and Applications



## CORSI LIBERI A SCELTA

Come da regolamento didattico di Ateneo, si possono scegliere liberamente due corsi da 6 CFU, sia tra quelli offerti dai corsi di studi in Matematica Applicata e in Matematica, sia tra quelli offerti dai corsi di studio magistrali e triennali della Sapienza.

Durante i seminari MoMA <http://www1.mat.uniroma1.it/ricerca/seminari/moma/> di questi anni, abbiamo preso contatto con vari colleghi di altre discipline interessati alla Data Science. Cogliamo quindi l'occasione per segnalare qui dei corsi da 6 CFU da loro tenuti, insieme ad altri corsi selezionati tra quelli offerti dalla Sapienza, che possono certamente essere fruiti da studenti delle magistrali in matematica interessanti alla Data Science.

Sergio Barbarossa: Signal Processing for Big Data (**ENG** ING-INF03) Laurea magistrale in Data Science

Roberto Navigili: Natural Language Processing (**ENG** INF01) Laurea magistrale in Computer Science

docenti vari: Fisica dei sistemi complessi (FIS03) Laurea magistrale in Fisica

Pierpaolo Brutti: Statistical Learning (**ENG** SECS-S/01) Laurea magistrale in Data Science

Lorenzo Carlucci: Mathematical logic for computer science (**ENG** INF/01) Laurea magistrale in Computer Science – Informatica

Tiziana Calamoneri: Network algorithms (**ENG** INF/01) Laurea magistrale in Computer Science – Informatica

Gaetano Scarano: Elaborazione numerica dei segnali (ING-INF/03) Laurea triennale in Ingegneria delle comunicazioni

Stefania Colonnese: Elaborazione delle immagini (ING-INF/03) Laurea magistrale in Ingegneria delle comunicazioni

Naturalmente si possono scegliere corsi anche nell'ampia offerta delle magistrali in Matematica. Tra quelli più applicati possiamo segnalare **Teoria del controllo** e **Metodi numerici per le equazioni alle derivate parziali non lineari**.

### ESEMPI DI PIANI DI STUDIO PER MADS

Il contributo trasversale delle varie discipline matematiche all'interno di questo curriculum può essere organizzato in varie direzioni. Qui, a titolo di esempio, ne presentiamo tre, con una selezione ragionata delle opzioni per i corsi a scelta. Ricordiamo però che **potete costruire il vostro piano di studi** seguendo la tabella generale, **secondo le vostre inclinazioni**.

In magenta sono evidenziati i **corsi obbligatori** (tra parentesi quelli obbligatori solo per MaDS).  
in arancione i **corsi caratterizzanti**,  
in blu i **corsi tra cui scegliere** (il loro numero può differire tra MaDS e MIA).

### Metodi e modelli matematici per 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.

Esami a scelta	I anno – I semestre	I anno - II semestre	II anno - I semestre
Obbligatori da 9	<b>istituzioni di probabilità</b> <b>Ist. di algebra e geometria</b> <b>(Istituzioni di analisi numerica)</b>	<b>(Programmazione matematica)</b>	
Obbligatori da 6	<b>Statistica matematica</b>		
1/2 nel gruppo applicato			<b>Mathematical Models for Neural Networks</b>
1 nel gruppo algebrico		<b>Matematica discreta</b>	<b>Combinatorics</b>
1 nel gruppo informatico		<b>Teoria degli algoritmi</b> <b>Generative AI</b> <b>Deep learning and applied artificial intelligence</b> <b>Advanced machine learning for physics</b>	
2/4 nel gruppo integrativo		<b>Quantum Machine Learning</b> <b>Processi stocastici</b> <b>Metodi matematici in meccanica statistica</b> <b>Data mining</b> <b>Generative AI</b> <b>Deep learning and applied artificial intelligence</b> <b>Advanced machine learning for physics</b>	<b>Probabilità e statistica in alta dimensione</b> <b>Fourier Analysis</b> <b>Stochastic Calculus and Applications</b>



### 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.

Esami a scelta	I anno – I semestre	I anno - II semestre	II anno - I semestre
Obbligatori da 9	<b>istituzioni di probabilità Ist. di algebra e geometria (Istituzioni di analisi numerica)</b>	<b>(Programmazione matematica)</b>	
Obbligatori da 6	<b>Statistica matematica</b>		
1/2 nel gruppo applicato		<b>Data mining</b>	
1 nel gruppo algebrico		<b>Teoria degli algoritmi</b>	<b>Combinatorics</b>
1 nel gruppo informatico			<b>Cryptography</b>
2 /4 nel gruppo integrativo		<b>Matematica discreta Teoria degli algoritmi Processi stocastici Data mining</b>	

### Analisi e trattamento dei dati

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

Esami a scelta	I anno – I semestre	I anno - II semestre	II anno - I semestre
Obbligatori da 9	<b>Istituzioni di probabilità Ist. di algebra e geometria (Istituzioni di analisi numerica)</b>	<b>(Programmazione matematica)</b>	
Obbligatori da 6	<b>Statistica matematica</b>		
1 / 2 nel gruppo applicato			<b>Probabilità e statistica in alta dimensione</b>
1 nel gruppo algebrico		<b>Matematica discreta</b>	<b>Combinatorics</b>
1 nel gruppo informatico		<b>Teoria degli algoritmi Generative AI Deep learning and applied artificial intelligence Advanced machine learning for physics</b>	<b>Cryptography</b>
2 / 4 nel gruppo integrativo		<b>Data mining Processi stocastici Teoria degli algoritmi Generative AI Deep learning and applied artificial intelligence Advanced machine learning for physics</b>	<b>Fourier Analysis</b>