



MATH@TOV
PROGETTO DI ECCELLENZA 2018-2022
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "TOR VERGATA"

STATO DELL'ARTE DEL DIPARTIMENTO

Il Dipartimento di Matematica dell'Università di Roma "Tor Vergata" è caratterizzato da un'attività di ricerca di elevatissimo livello scientifico e linee di ricerca spesso motivate da problemi esterni alla Matematica (fisica teorica, astronomia, aerospazio, finanza, medicina, tecnologia), a cui si affiancano una didattica di ottimo livello ed attività di terza missione ad ampio spettro con feconde interazioni nel territorio. Per maggiori dettagli si veda il sito web del Dipartimento: <http://www.mat.uniroma2.it/>

Il Dipartimento annovera risultati eccellenti in svariati campi fra i quali: Teoria delle rappresentazioni; Geometria degli spazi; Quantum field theory e Algebre di Operatori; Metodi variazionali (interfacce, omogeneizzazione); PDE (teorie di Gauge, Hamilton-Jacobi, mean field games, equazioni degeneri); Teoria del controllo; Probabilità e Statistica (campi aleatori, finanza matematica); Meccanica Statistica (equilibrio e non equilibrio, classica e quantistica); Sistemi Dinamici reali e olomorfi; Meccanica Celeste (forme normali, teoria KAM); Analisi Numerica (spline theory, algebra lineare numerica).

Il Dipartimento ha attivi progetti ERC Advanced Grant (R. Longo), FARE-MIUR (R. Longo), FIR-MIUR (H. Speleers), "Programma Giovani Ricercatori Levi Montalcini"-MIUR (Y. Tanimoto), SIR-MIUR (L. Arosio), ASI-JUICE (A. Celletti). Nel 2012-2016 ci sono stati altri 2 progetti ERC Advanced Grant (C. Liverani, R. Longo), 2 ERC Starting Grant (F. Bracci, D. Marinucci), 3 Marie Curie-ITN (A. Celletti, R. Schoof), 2 FIRB-MIUR (F. Bracci, G. Tarantello). Il Dipartimento ha una forte attività seminariale e di professori visitatori. Ospita il Centro di Matematica e Fisica Teorica (CMTP), diretto da R. Longo, che organizza congressi e workshop con speaker di riconosciuta fama internazionale. È sede della Società Italiana di Meccanica Celeste e Astrodinamica.

L'attività didattica erogata dal Dipartimento consiste in: Lauree triennali in Matematica (LT-MAT) e in Scienza e Tecnologia dei Media (LT-STM) - Laurea Magistrale in Matematica Pura e Applicata (LM-MAT) - Master di II livello in Scienza e Tecnologia Spaziale (Master STS) - Dottorato di Ricerca in Matematica. Da 10 anni il Dipartimento bandisce annualmente il Premio Cuzzo per la migliore tesi di dottorato in Matematica discussa in Italia negli ultimi 12 mesi.

Le attività di terza missione si concretizzano in numerose iniziative individuali e dipartimentali, come SCIENZAORIENTA, le Olimpiadi della Matematica e attività di formazione per gli insegnanti, anche in ambito PLS. Un ampio collegamento con l'industria, in particolare tramite il Master STS, favorisce un reciproco trasferimento di conoscenze. Il Dipartimento svolge attività di disseminazione della cultura Matematica tramite videoregistrazione e streaming di seminari e colloquia, diffusi sul canale YouTube e sito Facebook del Dipartimento.

OBIETTIVI DI SVILUPPO DEL DIPARTIMENTO

Il Dipartimento intende aumentare la sua rilevanza per la ricerca e la didattica a livello nazionale/internazionale e per una diffusione della cultura Matematica. Il progetto del Dipartimento, indicato con [MATH@TOV](#), si propone l'ambizioso obiettivo di affrontare nuove sfide con un preciso programma che consenta un costante trasferimento di conoscenze tra le varie aree e un adeguato riconoscimento scientifico. Gli obiettivi di [MATH@TOV](#) si possono così riassumere:

- innescare collaborazioni interne su temi di ricerca avanzati
- reclutare personale eccellente che possa partecipare a più linee di ricerca
- stimolare l'interazione con centri matematici di eccellenza, enti di ricerca e industrie, configurando il Dipartimento come un asset strategico per lo sviluppo di matematica innovativa e l'applicazione a problemi specifici
- aumentare la visibilità internazionale del Dipartimento
- migliorare e innovare l'offerta didattica (Dottorato di Ricerca e LM-MAT)
- aumentare la diffusione della cultura Matematica.

Il piano di crescita del Dipartimento si articola nello sviluppo di due poli scientifici, con l'obiettivo di avanzare parallelamente nella ricerca Matematica pura e applicata e di favorire le interazioni. Per entrambi i poli, si vuole aumentare l'internazionalizzazione e la visibilità del Dipartimento, nonché instaurare nuove collaborazioni tra le varie aree, con notevoli benefici - durevoli nel tempo - per lo sviluppo della ricerca scientifica del Dipartimento. Gli obiettivi di sviluppo scientifico si articolano in temi specifici, descritti nel seguito per i due poli, sui quali il Dipartimento annovera competenze di rilievo.

Polo Matematica pura

Il polo di ricerca pura ha competenze di altissimo livello in svariati ambiti. Attraverso [MATH@TOV](#) si intende sviluppare una sinergia tra le varie aree, creare un'ampia interazione con il polo di ricerca applicato e diventare un centro di eccellenza internazionale incentrato innanzitutto, ma non esclusivamente, sulle seguenti tematiche.

Sistemi dinamici e meccanica statistica. Lo studio di sistemi dinamici con pochi gradi di libertà è fondamentale sia per la ricerca applicata (individuazione di aree caotiche del moto, flussi di particelle, sistemi con piccola dissipazione), che per la ricerca pura. In questo ambito, intendiamo investigare connessioni tra oggetti geometrici e dinamici su una data varietà, determinando e.g. l'esistenza di sottovarietà invarianti od asintoticamente stabili, la dinamica globale e/o locale del sistema dinamico ed eventuali modelli (o forme) normali. E' recentemente emersa l'importanza di studiare la dinamica indotta sullo spazio delle distribuzioni piuttosto che su quello delle misure, aprendo collegamenti con l'analisi semiclassica e la Meccanica Quantistica. In quest'ambito, vogliamo affrontare lo studio di sistemi dinamici con molti gradi di libertà debolmente interagenti, fondamentali per la Meccanica Statistica del non equilibrio, o per problemi variazionali con percolazione. In ambito probabilistico, si intende studiare la geometria di insiemi di livello di campi aleatori su varietà, enfatizzando le relazioni con Meccanica Quantistica, analisi di dati cosmologici e catene di Markov su alberi infiniti (Analisi armonica).

Algebre di operatori, teoria quantistica dei campi (QFT), rappresentazioni. QFT è una teoria ricca di interconnessioni con settori della Fisica e della Matematica. Parte della sua struttura è già presente a livello classico. La teoria delle Algebre di Operatori ha recentemente trovato nuove connessioni di

QFT con invarianti per i nodi topologici e la probabilità libera; in questo ambito si intende affrontare nuovi problemi di QFT Conforme e Meccanica Statistica Quantistica. Un altro importante aspetto collegato è sicuramente quello della Geometria Non Commutativa di A. Connes, che ingloba la teoria spettrale degli operatori e teoremi dell'indice fino alla Teoria dei Numeri, passando per spazi di orbite di foliazioni e quozienti singolari; in questo ambito saranno importanti le collaborazioni con esperti di Teoria delle Rappresentazioni, introducendo nuovi approcci per lo studio di algebre di Kac-Moody, per cui esistono vaste classi di rappresentazioni con caratteri sconosciuti.

Geometria algebrica. La Geometria Algebrica ha profonde interconnessioni con settori come Fisica Teorica, sicurezza informatica (Crittografia) e Telecomunicazioni. Si intende sviluppare approcci innovativi per lo studio birazionale, modulare ed enumerativo di famiglie di curve su varietà algebriche così come per lo studio di schemi di Hilbert e spazi di moduli di varietà o di fibrati. Queste tematiche hanno inoltre profonde connessioni con l'utilizzo di fibrati in dinamica e sue applicazioni, in cosmologia ed analisi statistica dei dati o con questioni di Computer Aided Design e Computer Graphics.

PDE. La descrizione di opportuni stati in teoria di Ginzburg-Landau o teoria dei campi di Gauge, così come alcuni problemi di monodromia per l'equazione di Fuchs, sono tutti esempi di argomenti che si sono tradotti nella ricerca di soluzioni per problemi di tipo "Liouville". In questo ambito, si intende intensificare la ricerca sulla classificazione di geometrie conformi in connessione con curve iperellittiche, su sistemi Hamiltoniani integrabili (Toda), su Teoria Elettrodebole, oltre che su problemi di moti di interfaccia e di evoluzione di microstruttura.

Polo Matematica applicata

Fra le numerose competenze di alto livello possedute in campo applicativo si è scelto di sviluppare la modellizzazione e l'analisi di applicazioni in ambito cosmologico e aerospaziale, in cui membri del Dipartimento hanno ricevuto riconoscimenti importanti (ERC, MC-ITN). MATH@TOV intende gettare le fondamenta per un Centro di eccellenza per la Matematica dello Spazio, una novità a livello (inter)nazionale con un forte impatto a livello accademico e industriale, anche grazie alla presenza sul territorio di numerosi enti e imprese in cui si svolge ricerca aerospaziale. I principali temi da sviluppare sono descritti di seguito e necessitano diverse metodologie di studio spesso connesse con il polo di Matematica pura.

Meccanica celeste – detriti spaziali. Il problema della dinamica di resti di satellite abbandonati nello spazio è una delle principali aree di ricerca delle agenzie spaziali. Intendiamo analizzare la dinamica dei detriti, evidenziando le regioni caotiche e regolari, nonché la possibile deflessione delle orbite. I risultati di studi originali basati su teoria del caos, teoria KAM e calcolo di forme normali, potranno portare a tecniche innovative per il controllo dei detriti spaziali con importanti ricadute sul piano tecnologico.

Sistemi dinamici – stabilità di pianeti e satelliti. Ad oggi non disponiamo di una dimostrazione rigorosa della stabilità per un modello realistico del nostro sistema Solare che si può ottenere combinando i teoremi KAM e Nekhoroshev. Attraverso MATH@TOV intendiamo sviluppare le tecniche dei Sistemi Dinamici per affrontare argomenti quali la dinamica dei sistemi extrasolari e le orbite di station-keeping vicino ad asteroidi di forma irregolare usando la teoria del controllo ottimo e metodi di analisi numerica.

Probabilità e statistica – analisi di dato cosmologici. La raccolta e l'analisi di dati cosmologici ha conosciuto un vero boom negli ultimi 15 anni; ricordiamo ad esempio i datasets sulla radiazione cosmica di fondo (missioni WMAP e Planck) e la futura missione ESA Euclid (gravitational lensing). Intendiamo sviluppare tecniche che coinvolgano aspetti molto variegati della Matematica pura e

applicata: analisi spettrale dei campi aleatori sulla sfera, sistemi wavelets/needlets su campi sferici, proprietà geometriche di campi aleatori di natura cosmologica, funzionali di Minkowski per gli insiemi di escursione.

Analisi numerica – design aeronautico/aerospaziale. Progettare veicoli aeronautici ed aerospaziali richiede avanzate tecniche di simulazione numerica e di geometria computazionale. Di recente l'analisi isogeometrica (IgA) ha coniugato i due ambiti finora disgiunti del trattamento numerico di PDE e della modellizzazione geometrica. MATH@TOV affronterà difficili problematiche connesse con gli aspetti suddetti quali: estensione dell'approccio IgA a geometrie complesse, di topologia arbitraria ed elevate dimensioni, raffinamento locale, solutori veloci.

Meccanica statistica – traffico aereo. Intendiamo studiare i processi di congestione che si osservano nell'ambito del traffico aereo nelle vicinanze dei grandi aeroporti. Il tema è molto sensibile da un punto di vista della sostenibilità, ma è altresì matematicamente complesso, poiché il processo degli arrivi è autocorrelato.

Metodi PDE in climatologia. Intendiamo applicare metodi analitici per studiare controllabilità e osservabilità di equazioni paraboliche degeneri alla soluzione di problemi inversi per modelli differenziali di bilancio energetico, che descrivono il contributo delle masse di ghiaccio all'evoluzione del clima. Nell'ambito di fenomeni atmosferici estremi, intendiamo ampliare uno studio sui flussi turbolenti con particelle sospese a flussi realistici (uragani, cicloni, tempeste di polvere).

MATH@TOV consentirà di ampliare le collaborazioni con centri di eccellenza e ricercatori di fama mondiale, rafforzando le collaborazioni in atto o innescandone nuove attraverso un programma di professori visitatori, scuole e workshop. MATH@TOV prevede inoltre una forte interazione con l'ambiente extra-universitario. A questo proposito, abbiamo acquisito un'espressione di interesse alla collaborazione sulla parte applicata da parte dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), Thales Alenia Space Italia, Telespazio, Deep Blue, Istituto per le Applicazioni del Calcolo "M. Picone" (IAC/CNR), Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG/CNR).

STRATEGIE DI SVILUPPO DEL PROGETTO

MATH@TOV consentirà al Dipartimento di raggiungere risultati eccellenti attraverso una precisa strategia di sviluppo su diversi fronti.

Ricerca. Le attività saranno stimolate da un programma di visiting professors, scuole, workshop, cicli di seminari tematici. Si incentiverà la stipula di accordi di collaborazione con istituti di eccellenza matematica, sia a fini di ricerca che di didattica.

Reclutamento. Sarà effettuato cercando di attrarre giovani ricercatori e professori di livello scientifico elevato, anche dall'estero, attraverso il loro inserimento in gruppi di ricerca consolidati e il loro coinvolgimento nelle numerose attività scientifiche del Dipartimento.

Didattica: dottorato e LM-MAT. MATH@TOV si propone di migliorare sensibilmente l'offerta formativa relativa al Dottorato di Ricerca per renderlo ancor più competitivo a livello internazionale. Il programma dei corsi di Dottorato sui temi chiave di MATH@TOV verrà ampliato incentivando il contributo di docenti interni e con un preciso programma di visitatori di elevata qualificazione. Inoltre, una parte sostanziale del budget di MATH@TOV verrà dedicata all'aumento dello stipendio delle borse di dottorato erogate dall'Ateneo. Saranno anche stanziati fondi per stage presso prestigiosi enti di ricerca e verranno organizzati cicli intensivi di seminari e workshop dedicati agli studenti di Dottorato e LM-MAT. Per la LM-MAT verrà istituito un percorso di eccellenza (PE) con l'inclusione nel piano di studi di insegnamenti particolarmente formativi, nonché il superamento degli esami di verifica nei

tempi previsti. Verranno messe a disposizione fino anche borse di studio per la LM-MAT. L'offerta formativa di secondo e terzo livello sarà quindi portata a livelli di prestigio internazionale.

Collegamento con il mondo non accademico. L'interazione con ASI, CNR e industrie aerospaziali consentirà un fruttuoso trasferimento di conoscenze e creerà un ponte tra ricerca e innovazione formando gruppi di lavoro multi-disciplinari, anche in grado di partecipare a bandi per progetti di ricerca che porteranno risorse aggiuntive.

Infrastrutture. [MATH@TOV](#) consentirà di acquisire infrastrutture che permetteranno di avere luoghi di discussione, sale con strumentazione multimediale e mezzi di calcolo per sviluppare analisi dati, simulazioni e integrazioni accurate, di fondamentale importanza per il raggiungimento degli obiettivi scientifici, in particolare del polo applicato.

Terza Missione. Saranno organizzati eventi di divulgazione scientifica, incontri con studenti delle scuole superiori e loro insegnanti, anche tramite lezioni ed esperimenti nell'aula didattico/laboratoriale, il cui allestimento sarà completato tramite [MATH@TOV](#) allo scopo di avere una mostra permanente della Matematica ed esperimenti interattivi.

[MATH@TOV](#) prevede precise attività di governo del processo di realizzazione del progetto con monitoraggio e condivisione interna degli obiettivi. Si avvarrà inoltre di un Advisory Board formato dai Proff.:

E. Trelat (Université Pierre et Marie Curie, Parigi),

T. Rivière (ETH Zurigo),

C. Voisin (Collège de France, Parigi),

T.J.R. Hughes (ICES, Austin).

Saranno prodotti libri con le lezioni delle scuole, proceedings, special issues su riviste di alta qualificazione. Gli eventi di maggiore prestigio saranno registrati e/o trasmessi in streaming.