

## Gruppi di ricerca del Dipartimento di Matematica

### Algebra e combinatoria

Algebre di Lie, algebre di vertice e loro rappresentazioni. Metodi superalgebrici, rappresentazioni esplicite, immananti quantici. Gruppi di Coxeter e gruppi generati da pseudoriflessioni. Combinatoria delle permutazioni e dei cammini nel piano ad esse associati. Funzioni simmetriche. Studio di grafi, politopi, matroidi e dei loro invarianti. Sottogruppi verbali nei gruppi (in particolare gruppi profiniti e residualmente finiti). Studio del gruppo di automorfismi di gruppi liberi e dei relativi 'outer spaces'.

Componenti: Marilena Barnabei, Riccardo Biagioli, Andrea Brini, Nicoletta Cantarini, Fabrizio Caselli, Stefano Francaviglia, Jacopo Gandini, Luca Moci, Marta Morigi, Roberto Pagaria, Andrea Petracci, Francesco Regonati.

Assegnisti/dottorandi: Lucia Bagnoli, Luis Ferroni, Gian Marco Pezzoli, Lorenzo Vecchi.

### Algebra commutativa e geometria algebrica classica

Studio di varietà proiettive. In particolare studio di: curve piane razionali e di loro singolarità in relazione allo spezzamento del fibrato tangente del piano sulla normalizzazione della curva e allo studio della risoluzione minimale di ideali di schemi zero-dimensionali. Utilizzo delle varietà delle secanti di curve razionali normali per lo studio delle singolarità delle curve razionali piane date mediante parametrizzazione. Applicazioni della teoria della molteplicità e della teoria di intersezione alla geometria algebrica classica (singolarità, calcolo del grado di varietà delle secanti, calcolo del numero dei punti doppi apparenti di superficie, ecc.) anche utilizzando strumenti di computer algebra. Fibrazioni ellittiche. Problemi di Noether-Lefschetz ed applicazioni.

Componenti: Mirella Manaresi, Alessandro Gimigliano, Monica Idà, Antonella Grassi.

Assegnisti/dottorandi: Cosimo Flavi.

Collaboratori esterni: Rüdiger Achilles.

### Geometria delle varietà

Studio delle varietà, in particolar modo complesse e algebriche, e alcune loro generalizzazioni quali le supervarietà, dai vari punti di vista, algebrico, topologico, differenziale. Particolare enfasi è posta sugli spazi di moduli e condizioni di stabilità, le varietà HyperKähler, varietà di Fano e Calabi-Yau, fibrazioni ellittiche, varietà toriche, simmetriche e sferiche, gli spazi costruiti a partire da gruppi o supergruppi di Lie. Sono inoltre studiate la geometria algebrica enumerativa, la geometria aritmetica, la teoria algebrica dei numeri, le applicazioni della geometria algebrica alla fisica.

Componenti: Jacopo Gandini, Antonella Grassi, Lars Halle, Emanuele Latini, Luca Migliorini, Giovanni Mongardi, Andrea Petracci, Andrea Ricolfi, Sergio Venturini.

Assegnisti/dottorandi: Simone Billi, Yulieth Prieto, Marco Rampazzo, Lorenzo Vecchi, Florent Ygouf.

### Topologia geometrica e computazionale

Studio di varietà in bassa dimensione e di nodi e link in 3-varietà mediante metodi topologici, algebrici, combinatorici e geometrici. Studio di spazi di moduli di strutture geometriche. Spazi di configurazioni e arrangiamenti di ipersuperfici. Metodi omologici, combinatorici e metrici per la topologia computazionale, l'analisi topologica dei dati e il deep learning geometrico. Superfici di traslazione, algoritmi di rinormalizzazione, "geometry of numbers".

Componenti: Alessia Cattabriga, Stefano Francaviglia, Patrizio Frosini, Luca Marchese, Luca Moci,

Michele Mulazzani, Roberto Pagaria.

Assegnisti/dottorandi: Faraz Ahmad, Florent Ygouf.

### **Didattica della matematica**

La geometria non euclidea come appoggio per la didattica della geometria euclidea (e annessa sperimentazione nazionale). Problematiche relative all'insegnamento/apprendimento della geometria con le tecnologie. Problematiche relative all'insegnamento/apprendimento dell'Analisi con le tecnologie. Il ruolo di corpo e movimento nell'insegnamento/apprendimento della matematica; Interdisciplinarietà tra matematica e fisica: problemi didattici e strategie d'azione; L'insegnamento della probabilità e della statistica: dai dati alla conoscenza. Aspetti elementari di alcune tematiche attuali di algebra e geometria e proposte per una didattica collegata alla comunicazione della ricerca matematica.

Componenti: Silvia Benvenuti, Alessia Cattabriga, Andrea Cosso, Monica Idà, Mirella Manaresi, Paolo Negrini, Andrea Pascucci.

Collaboratori esterni: Piero Plazzi, Carla Provitera.

### **Analisi geometrica su gruppi di Carnot**

Il gruppo si articola sulle seguenti attività di ricerca: studio della regolarità di distanze sub-Riemanniane e struttura del cut locus in gruppi di Carnot; stime a priori per complessi di forme differenziali su gruppi di Carnot; teoria geometrica della misura su gruppi di Carnot; distanze di controllo di Carnot-Carathéodory associate a famiglie di campi vettoriali a coefficienti poco regolari; trasporto ottimo su gruppi di Carnot.

Componenti: Annalisa Baldi, Fausto Ferrari, Annamaria Montanari, Daniele Morbidelli, Giovanna Citti, Eleonora Cinti.

Assegnisti/dottorandi: Michele Circelli.

Collaboratori esterni: Bruno Franchi, Pierre Pansu, Zoltán Balogh, Raul Serapioni, Marco Marchi, Francesca Corni, Francesco Serra Cassano, Maria Manfredini, Kevin Wildrick, Manuel Ritoré, Irina Markina, Gianmarco Giovannardi.

### **Metodi di analisi funzionale per lo studio di equazioni differenziali**

Il gruppo si occupa di equazioni differenziali astratte, anche degeneri, calcolo funzionale e applicazione dei metodi dell'analisi funzionale a equazioni alle derivate parziali, in particolare a problemi inversi per equazioni differenziali e integrodifferenziali.

Componenti: Giovanni Dore, Davide Guidetti.

Collaboratori esterni: Angelo Favini.

### **Analisi geometrica nello spazio delle fasi di equazioni alle derivate parziali**

Il gruppo si articola sulle seguenti attività di ricerca: ipoellitticità analitica per somme di quadrati di campi; risolubilità locale e globale di operatori degeneri ed a caratteristiche multiple; stime a priori di quasi positività (Fefferman-Phong, Melin, Hörmander) per operatori e sistemi di operatori pseudodifferenziali su  $\mathbb{R}^n$  e su gruppi di Lie; problema di Cauchy per operatori debolmente iperbolici in presenza di transizioni della geometria delle bicaratteristiche; buona posizione del problema di Cauchy per operatori a caratteristiche reali; equazioni di Hamilton-Jacobi del primo ordine e propagazione delle singolarità lungo le caratteristiche generalizzate; buona posizione del problema di Cauchy, proprietà di smoothing e stime di Strichartz per equazioni dispersive.

Componenti: Alberto Parmeggiani, Massimo Cicognani, Paolo Albano, Marco Mughetti, Serena Federico.

Assegnisti/dottorandi: Marcello Malagutti.

Collaboratori esterni: Piermarco Cannarsa, Michael Reissig, Wei-Xi Li, Antonio Bove, Gerardo Mendoza, Gigliola Staffilani, Carlo Sinestrari, Michael Ruzhansky, Sandro Coriasco, Karel Pravda-Starov.

### **Proprietà di operatori subellittici**

Il gruppo si articola sulle seguenti attività di ricerca: Stime di Schauder per il sub-laplaciano in gruppi di Carnot; regolarità al bordo per operatori subellittici; esistenza di soluzioni fondamentali globali per alcune classi di operatori subellittici; disuguaglianze di Harnack globali ed invarianti per classi di operatori subellittici in forma di divergenza; disuguaglianze di tipo Harnack per operatori subellittici in forma di non-divergenza; equazioni di Monge-Ampère subellittiche su gruppi di Lie; U-bounds e disuguaglianze di Poincaré globali rispetto a misure di probabilità su gruppi di Carnot.

Componenti: Annalisa Baldi, Giovanna Citti, Fausto Ferrari, Giovanni Cupini, Francesco Uguzzoni, Andrea Bonfiglioli, Annamaria Montanari, Vittorio Martino, Daniele Morbidelli, Serena Federico.

Assegnisti/dottorandi: Shirsho Mukherjee, Chiara Guidi.

Collaboratori esterni: Maria Manfredini, Marianna Chatzakou, Boguslaw Zegarlisky, Yannik Sire, Luca Capogna, Xiao Zhong, Juan Manfredi.

### **Analisi complessa**

Il gruppo svolge attività di ricerca soprattutto su argomenti di analisi complessa in una e più variabili, soprattutto concenenti spazi di Hilbert con nucleo riprodotto; di teoria del potenziale su spazi metrici Ahlfors-regolari; integrali singolari a nucleo olomorfo su domini con regolarità minima; applicazioni dell'analisi complessa alla dinamica dei fluidi.

Componenti: Nicola Arcozzi, Loredana Lanzani.

Assegnisti/dottorandi: Michelangelo Cavina, Nicholas Chalmoukis.

Collaboratori esterni: Alessandro Monguzzi, Pavel Mozolyako, Marco Peloso, Stefanie Petermichl, Maura Salvatori, Giulia Sarfatti, Alessandro Socionovo, Alexander Volberg, Matteo Levi, Brett Wick, Ji Li, Stefan Llewellyn Smith, Elena Louca.

### **Modelli matematici in medicina e fisiologia**

Il gruppo svolge attività di ricerca nell'ambito dei modelli matematici per le scienze biomediche. In particolare si occupa della modellazione della corteccia visiva tramite tecniche di analisi geometrica e armonica in ambiente sub-riemanniano, della modellazione della progressione della malattia di Alzheimer, di modelli di crescita tumorale e di modelli per la dinamica di popolazioni di neuroni.

Componenti: Giovanna Citti, Maria Carla Tesi.

Assegnisti/dottorandi: Elena Ambrogi, Maria Virginia Bolelli, Noemi David, Mattia Galeotti, Caterina Mazzetti.

Collaboratori esterni: Bruno Franchi, Michiel Bertsch, Andrea Tosin, Silvia Lorenzani, Alessandro Sarti, Jerome Ribot, Davide Barbieri, Emre Baspinar, Jean Petitot, Steven Zucker, Veronica Tora, Marta Marulli.

### **Analisi geometrica e armonica per l'analisi dei dati e il machine learning**

Il gruppo svolge attività di ricerca nell'ambito della: comprensione teorica di algoritmi di machine learning e deep learning con strumenti di analisi geometrica; relazione fra le architetture della corteccia visiva e delle reti neurali, applicazione alla visione ed alla percezione; relazione tra

equazioni differenziali, trasporto ottimo e reti neurali.

Componenti: Giovanna Citti.

Assegnisti/dottorandi: Federico Bertoni.

Collaboratori esterni: Davide Barbieri, Alessandro Sarti, Remco Duits, Noemi Montobbi.

### **Teoria spettrale**

Il gruppo si articola sulle seguenti attività di ricerca: analisi spettrale di sistemi di equazioni a coefficienti polinomiali e proprietà delle relative funzioni zeta spettrali; analisi semiclassica dello pseudospettro di operatori ipoellittici che perdono molte derivate; struttura semiclassica di funzioni d'onda di hamiltoniane quantistiche su tori piatti in termini di tori KAM deboli; sistemi hamiltoniani integrabili, sistemi isospettrali; teoria spettrale per operatori integrali singolari con nucleo olomorfo su domini complessi di limitata regolarità.

Componenti: Alberto Parmeggiani, Simonetta Abenda, Loredana Lanzani, Nicola Abatangelo.

Assegnisti/dottorandi: Marcello Malagutti.

Collaboratori esterni: Masato Wakayama, Karel Pravda-Starov, Lorenzo Zanelli, Petr Grinevich, Marco Bertola, Tamara Grava, Christian Klein, Dave Barrett.

### **Proprietà di operatori ellittici lineari e non lineari**

Il gruppo si articola sulle seguenti attività di ricerca: proprietà di media per il laplaciano (e sublaplaciani); esistenza e regolarità di soluzioni di sistemi di equazioni alle derivate parziali e funzioni del calcolo delle variazioni; proprietà di regolarità della frontiera libera in problemi a due fasi per operatori ellittici (e parabolici) lineari e non lineari; proprietà degli operatori ellittici (e subellittici) non locali di tipo frazionario; regolarità delle soluzioni viscosse di operatori degeneri non lineari (p-laplaciano, flusso medio di curvatura); proprietà geometriche delle soluzioni di operatori non lineari del tipo secondo operatore hessiano e bi-laplaciano. Risultati di struttura per soluzioni radiali di problemi critici e supercritici con tecniche di sistemi dinamici non-autonomi. Analisi della stabilità delle soluzioni di problemi parabolici con termini di reazione di tipo potenza.

Componenti: Giovanni Cupini, Fausto Ferrari, Giovanna Citti, Eleonora Cinti, Berardo Ruffini, Matteo Franca, Filippo Morabito, Francesca Colasuonno, Eugenio Vecchi, Nicola Abatangelo.

Assegnisti/dottorandi: Nicolò Forcillo, Aleksandr Dzhugan.

Collaboratori esterni: Bruno Franchi, Paolo Marcellini, Elvira Mascolo, Sandro Salsa, Daniela De Silva, Qing Liu, Juan Manfredi, Irene Peral, Ermanno Lanconelli, Luca Capogna, Isabella Birindelli, Italo Capuzzo Dolcetta, Claudia Lederman, Serena Dipierro, Antonio Vitolo, Andrea Pinamonti, Andrea Sfecci, Michal Pospisil, Giorgio Tortone, Alberto Boscaggin, Benedetto Noris.

### **Equazioni nonlocali e superfici minime frazionarie**

Il gruppo si occupa dello studio di problemi nonlocali quali: proprietà delle soluzioni di equazioni governate dal Laplaciano frazionario o da operatori nonlocali più generali, problemi di frontiera libera per il Laplaciano frazionario, studio delle superfici minime frazionarie e del flusso per curvatura media frazionario. Particolare interesse è rivolto allo studio delle proprietà qualitative e di regolarità dei problemi sopraelencati.

Componenti: Eleonora Cinti, Fausto Ferrari, Berardo Ruffini, Francesca Colasuonno, Eugenio Vecchi, Nicola Abatangelo.

Assegnisti/dottorandi: Nicolò Forcillo, Aleksandr Dzhugan.

Collaboratori esterni: Xavier Cabré, Daniela de Silva, Matteo Novaga, Joaquim Serra, Carlo Sinestrari, Enrico Valdinoci, Lorenzo Brasco, Giorgio Tortone.

### **Teoria geometrica della misura**

Il gruppo si occupa di problemi variazionali legati alla teoria dei perimetri finiti, flussi per curvatura media, dello studio di proprietà geometriche di EDP. Un particolare interesse è dato allo studio di problemi di rigidità e di stabilità quantitativa per funzioni di forma relativi a problemi fisici connessi ad operatori di tipo ellittico, come autovalori del laplaciano o capacità elettrostatica.

Componenti: Eleonora Cinti, Fausto Ferrari, Berardo Ruffini.

Collaboratori esterni: Matteo Novaga, Joaquim Serra, Enrico Valdinoci, Lorenzo Brasco, Michael Goldman, Guido De Philippis, Dario Mazzoleni, Roberto Ognibene, Cyrill Muratov.

### **Random fields e percolazione**

Passeggiate aleatorie in ambiente aleatorio. Campi aleatori di Gibbs, percolazione indipendente e modello FK di cluster aleatorio, comportamento asintotico delle funzioni di connessione e di correlazione. Rappresentazione stocastica di modelli di meccanica statistica quantistica.

Componenti: Massimo Campanino.

Collaboratori esterni: Michele Gianfelice.

### **Analisi stocastica ed applicazioni**

Il gruppo svolge attività di ricerca nell'ambito del calcolo stocastico e delle equazioni differenziali stocastiche, ordinarie (SDEs) o alle derivate parziali (SPDEs), diffusive e con salti. In particolare, il gruppo si occupa di: equazioni di Kolmogorov-Fokker-Planck lineari e non-lineari; diffusioni degeneri ed operatori differenziali ultra-parabolici; stime di densità di processi stocastici diffusivi, e con salti, sotto condizioni di Hörmander in senso debole; equazioni differenziali stocastiche a campo medio e relative equazioni di Kolmogorov alle derivate parziali; equazioni differenziali stocastiche "backward" ed equazioni alle derivate parziali non-lineari ellittiche o paraboliche (formula di Feynman-Kac non-lineare); metodi numerici stocastici e di approssimazione analitica; applicazioni alla modellistica matematica in finanza e ingegneria.

Componenti: Elena Bandini, Andrea Cosso, Stefano Pagliarani, Andrea Pascucci.

Assegnisti/dottorandi: Pasquale Cascarano, Kevin Kamm, Antonello Pesce, Elisa Raspanti.

Collaboratori esterni: Ankush Agarwal, Emmanuel Gobet, Alberto Lanconelli, Matthew Lorig, Cornelis Oosterlee, Sergio Polidoro, Carlos Vazquez.

### **Controllo ottimo stocastico**

Il gruppo si occupa dello studio di vari problemi di controllo ottimo stocastico tramite diverse metodologie. Si studiano problemi di controllo ottimo stocastico su orizzonte finito o infinito, problemi a frontiera libera e arresto ottimo, problemi di commutazione ("switching") ottimale, problemi di controllo singolare o impulsivo, problemi di controllo robusto, problemi di controllo ergodico. L'interesse è rivolto principalmente allo studio di tali problemi in presenza di caratteristiche non convenzionali ma sempre più importanti per le applicazioni: problemi di controllo con ritardo ("path-dependence") nello stato, con osservazione parziale (equazione di Zakai controllata e filtraggio stocastico), mean field games e problemi di tipo McKean-Vlasov. Le principali tecniche impiegate comprendono i metodi della programmazione dinamica e della randomizzazione del controllo (che utilizza le equazioni differenziali stocastiche "backward"). Particolare attenzione è dedicata allo studio delle relative equazioni di Hamilton-Jacobi-Bellman in spazi di Wasserstein o in spazi di traiettorie, tramite opportune nozioni di soluzione nel senso della viscosità.

Componenti: Elena Bandini, Andrea Cosso, Stefano Pagliarani, Andrea Pascucci.

Assegnisti/dottorandi: Antonello Pesce, Elisa Raspanti.

Collaboratori esterni: Erhan Bayraktar, Marco Fuhrman, Fausto Gozzi, Idris Kharroubi, Huyên Pham, Francesco Russo, Gianmario Tessitore.

### **Meccanica dei continui**

Il gruppo svolge attività di ricerca nei seguenti ambiti: modello viscoelastico di tipo Johnson-Segalman, aspetti reologici e formulazione matematica del problema; materiali con struttura: piastre e mezzi porosi; termodinamica per modelli di piastra elastica, viscoelastica e termoplastica: risultati di stabilità asintotica; fenomeni di dissipazione interna per mezzi termoporo-elastici e risultati di stabilità per problemi evolutivi nello spazio tridimensionale; stabilità delle soluzioni dell'equazione del calore e compatibilità con i principi termodinamici per modelli dual-phase-lag per conduttori rigidi. termomeccanica per modelli reologici a derivate frazionarie; modelli tipo Cahn- Hilliard in condizioni non isoterme nell'ambito della teoria classica e o teorie alternativa del tipo Cattaneo e Green-Nagdi, applicazioni in problemi di inquinamento ambientale e angiogenesi.

Componenti: Barbara Lazzari, Franca Franchi, Roberta Nibbi.

### **Meccanica Statistica e Applicazioni**

Il gruppo si occupa di meccanica statistica dei sistemi disordinati studiando modelli, sia classici che quantistici, che contengono interazioni deterministiche ed aleatorie. In particolare si interessa dei modelli di vetro di spin sia in geometrie finite dimensionali che nella versione di campo medio, di modelli di monomero-dimero con interazioni a cuore-duro e interazioni attrattive. Un altro tema di grande rilievo per il gruppo è lo studio di sistemi aleatori di interesse per il machine learning sia dal punto di vista teorico che applicato.

Tra le applicazioni il gruppo si occupa sia di analisi dei dati che provengono dalle scienze sociali ed economiche che del loro accordo coi modelli. Come casi di studio il gruppo ha lavorato sui problemi di integrazione nei flussi migratori e su quelli di programmi medici di screening.

Componenti: Pierluigi Contucci, Daniele Tantari, Emanuele Mingione.

Assegnisti/dottorandi: Diego Alberici, Francesco Camilli.

### **Applicazioni dell'analisi microlocale alla fisica matematica.**

Esistenza e localizzazione di risonanze quantistiche; stime sul tempo di vita di molecole metastabili; evoluzione a tempo lungo di sistemi molecolari instabili; studio matematico del risonatore di Helmholtz.

Componenti: André Martinez.

Collaboratori esterni: Alain Grigis, Thomas Duyckaertz, Setsuro Fujiie, Takuya Watanabe, Philippe Briet.

### **Teoria delle perturbazioni e analisi spettrale in meccanica quantistica.**

Il gruppo svolge attività di ricerca nei seguenti ambiti: analisi spettrale per operatori PT-simmetrici non auto-aggiunti di interesse in meccanica quantistica, con tecniche di teoria delle perturbazioni; criteri per la realtà dello spettro; rottura spontanea della PT-simmetria e autovalori a valori complessi.

Componenti: Emanuela Caliceti.

Collaboratori esterni: Sandro Graffi.

### **Propagazione ondosa non-lineare e termodinamica del non-equilibrio**

Il gruppo si occupa di tematiche legate alla propagazione ondosa non lineare e alla termodinamica del non-equilibrio ed ha ottenuto in entrambi i campi risultati assai rilevanti in

ambito fisico- matematico. La problematica matematica si inserisce nelle equazioni alle derivate parziali non- lineari di tipo iperbolico di leggi di bilancio. In questo ambito i componenti del Gruppo hanno ottenuto risultati molto interessanti che vanno dalla simmetrizzazione del sistema differenziale a teoremi di esistenza globale di soluzioni smooth per dati iniziali piccoli ed a proprietà qualitative delle onde d'urto e della struttura di onde d'urto.

Per quanto riguarda gli aspetti della modellizzazione della Termodinamica estesa uno dei partecipanti al gruppo (TR) è uno dei fondatori della teoria con due libri della Springer molto citati (I. Mueller & T.Ruggeri "Rational Extended Thermodynamics" (1993-1998) e T. Ruggeri & M. Sugiyama, "Rational Extended Thermodynamics beyond the monatomic gas" (2015)). Recentemente si sono ottenuti risultati molto significativi nel caso dei gas poliatomici e gas densi con una validazione a livello mesoscopico con la teoria cinetica e un perfetto accordo tra teoria e dati sperimentali. Gli studi prevedono tecniche sia analitiche sia numeriche.

Componenti: Leonardo Seccia, Francesca Brini, Andrea Mentrelli.

Collaboratori esterni: Tommaso Antonio Ruggeri, Augusto Muracchini.

### **Sistemi dinamici e applicazioni**

Il gruppo si occupa di una gamma di argomenti che rientrano nel campo della dinamica e delle sue applicazioni, fra cui:

teoria ergodica, in particolare teoria ergodica infinita, e proprietà stocastiche dei sistemi dinamici; biliardi, in particolare biliardi iperbolici;

processi stocastici (cammini aleatori in ambienti aleatori, ecc);

applicazioni a sistemi di interesse fisico e non (gas di Lorentz, trasporto anomalo, modelli di diffusione).

Componenti: Marco Lenci.

Collaboratori esterni: Giampaolo Cristadoro, Sara Munday.

### **Modellazione ed elaborazione geometrica**

Il gruppo si occupa di problemi matematici e computazionali che sorgono nello studio di spazi di funzioni e metodi numerici per la rappresentazione di modelli geometrici la cui utilità e applicazione

spazia dall'ambito prettamente ingegneristico legato alla progettazione, analisi e produzione meccanica ed industriale in genere, agli algoritmi per l'elaborazione di immagini digitali. Tra questi costituiscono argomenti centrali lo studio teorico e numerico di spazi di funzioni per la modellazione ed elaborazione geometrica, i metodi per la parametrizzazione di superfici di topologia arbitraria e la costruzione di curve e superfici dotate di proprietà algebrico/geometriche di particolare interesse nelle applicazioni grafiche, nella robotica e nella lavorazione con macchine a controllo numerico.

Componenti: Giulio Casciola, Serena Morigi, Damiana Lazzaro, Lucia Romani, Carolina Vittoria Beccari.

Assegnisti/dottorandi: Martin Huska, Alberto Viscardi.

Collaboratori esterni: Marie-Laurence Mazure, Michael Unser, Maria Charina, Mike Neamtu, Gudrun Albrecht.

### **Metodi di ottimizzazione per problemi inversi mal posti nell'imaging**

La risoluzione di problemi inversi mal posti viene affrontata con lo studio di metodi di regolarizzazione che richiedono la soluzione di problemi di ottimizzazione convessa e non convessa, vincolata. Svatiati problemi di imaging derivano dalla discretizzazione di problemi continui inversi. Sono necessarie particolari tecniche numeriche per la loro risoluzione a causa

della mal posizione e delle grandi dimensioni del problema. Per trattare la mal posizione in modo efficiente sono necessari modelli regolarizzanti, in cui è possibile inserire a priori informazioni sulla soluzione cercata; per trattare considerevoli quantità di dati è necessario studiare algoritmi computazionalmente efficienti. Le applicazioni considerate sono in ambito industriale (codici a barre), nell'imaging medico, in microscopia, e nell'indagine non-distruttiva di materiali. Si considerano nello specifico i seguenti ambiti:

- inversione di dati di rilassometria e spettroscopia NMR;
  - identificazione di parametri in modelli differenziali di diffusione-trasporto e reazione non lineare e modelli epidemiologici;
  - deblurring/denoising di immagini 2D/3D;
  - ricostruzione di 2D/3D immagini da tomografia ad impedenza elettrica (EIT), tomografia computerizzata cone-beam;
  - analisi di segnali/immagini con tecniche compressed sensing;
- segmentazione di strutture in immagini 2D e campi scalari su manifold.

Componenti: Fiorella Sgallari, Serena Morigi, Fabiana Zama, Germana Landi, Alessandro Lanza, Damiana Lazzaro, Silvia Tozza.

Assegnisti/dottorandi: Martin Huska, Monica Pragliola, Andrea Samorè, Francesco Colibazzi, Davide Evangelista, Andrea Sebastiani, Francesca Bevilacqua.

Collaboratori esterni: Lothar Reichel, Raymond Chan, Villiam Bortolotti, Ivan Selesnick.

### **Metodi numerici e matriciali per la risoluzione discreta di problemi differenziali e data science**

Sviluppo ed analisi di metodi di ottimizzazione del secondo ordine per la risoluzione di problemi derivanti dalla discretizzazione di problemi di controllo ottimo con vincoli dati da PDEs e vincoli di tipo box sullo stato e/o sul controllo. Sviluppo ed analisi di tecniche di accelerazione (precondizionatori) per i corrispondenti sistemi lineari, con riferimento alla ottimalità delle strategie in relazioni ai parametri del problema (coefficienti (an)isotropici, griglia, regolarità della soluzione, ecc.).

Sviluppo ed analisi di metodi di algebra lineare numerica per la risoluzione di sistemi lineari derivanti dalla discretizzazione di PDEs possibilmente parametrizzate, con anche riferimento a problemi strutturati, che possono dare luogo ad equazioni matriciali a bassa richiesta computazionale. Risoluzione di equazioni matriciali non lineari provenienti dalla risoluzione di problemi evolutivi alle derivate parziali spaziali, possibilmente di tipo parametrico, e da problemi di controllo e controllo ottimo.

Sviluppo di tecniche matriciali e tensoriali per il trattamento di problemi di data science, quali il riconoscimento e la classificazione di immagini, l'information retrieval, e strategie di riduzione.

Componenti: Valeria Simoncini, Margherita Porcelli, Davide Palitta.

Assegnisti/dottorandi: Domitilla Brandoni, Gerhardus Kirsten.

Collaboratori esterni: Nick Gould, David Silvester, Peter Brenner.

### **Metodi numerici di ottimizzazione senza derivate**

La risoluzione efficiente di problemi di ottimizzazione che si presentano in applicazioni reali richiede sempre più lo sviluppo di implementazioni efficienti e facili da usare di algoritmi che non fanno uso delle derivate della funzione obiettivo. In contesti applicativi come per e.s. nella progettazione strutturale o nel design di algoritmi, i problemi di ottimizzazione sono spesso definiti da funzioni la cui valutazione richiede l'esecuzione di costose simulazioni numeriche. In questi contesti le funzioni coinvolte nel problema devono essere trattate come black-box. Inoltre, le variabili possono essere di diversa natura: continue (ad es. parametri geometrici), intere (ad



es. elemento on/off di una struttura) o più in generale categoriche, cioè variabili discrete che identificano un elemento di un insieme non ordinato (ad es. colori, forme o materiali). Per questa complessa e generale classe di problemi di ottimizzazione vengono analizzati e sviluppati procedimenti cosiddetti “derivative-free” con l’obiettivo di ottenere soluzioni ragionevolmente buone in un numero limitato di valutazioni delle funzioni.

Componenti: Margherita Porcelli.

Collaboratori esterni: Jacek Gondzio, Martin Stoll.

### **Finanza quantitativa**

Il gruppo di lavoro si caratterizza per l’uso di metodi teorici e strumenti computazionali mutuati dall’analisi matematica, dalla probabilità, dai sistemi dinamici, dall’econometria e dalla meccanica statistica per lo studio di problemi di natura finanziaria. Alcuni esempi di tematiche di ricerca includono: la valutazione di strumenti derivati, la misurazione del rischio incluso il rischio sistemico e il rischio climatico, lo studio della microstruttura di mercato, l’analisi econometrica di serie storiche di dati finanziari, fuzzy systems, le reti finanziarie, i sistemi dinamici non lineari e modelli ad agenti per la finanza.

Componenti: Rossella Agliardi, Giacomo Bormetti, Marco Antonio Boschetti, Riccardo Cesari, Roberto Dieci, Fabrizio Lillo, Andrea Pascucci, Stefano Pagliarani.

Assegnisti/dottorandi: Dimitrios Zormpas, Kevin Kamm, Elisa Raspanti.

Collaboratori esterni: Franco Nardini.

### **Data science e Intelligenza Artificiale**

Il gruppo si occupa di metodologie quantitative per la Data Science e l’Intelligenza Artificiale con applicazioni all’economia, la finanza e le scienze sociali. Gli strumenti e i concetti utilizzati provengono dalla statistica matematica, fisica e meccanica statistica, teoria delle serie temporali, ricerca operativa, teoria dei network aleatori e complessi. L’interesse del gruppo è rivolto sia allo sviluppo teorico di nuovi metodi matematici, statistici e computazionali sia allo studio empirico di sistemi socio-economici quali le reti di interazione tra persone, tra aziende o più in generale tra agenti.

Tra i temi centrali per il gruppo vi è proprio quello di distinguere, a partire dai dati, un sistema con interazioni rilevanti da uno senza, misurare le interazioni ed utilizzarle con intenti predittivi.

Per il machine learning il gruppo si interessa alla comprensione teorica

del deep learning interpretato come problema inverso della meccanica statistica con condizioni al bordo assegnate,

delle relazioni tra deep learning e metodi statistici ed econometrici, sia inferenziali che di test di ipotesi.

Altri temi importanti per il gruppo includono l’inferenza di modelli ad alta dimensionalità tra cui, ad esempio, network dinamici e modelli di serie temporali a parametri variabili, sviluppo di metodi di clustering e di approcci entropici e statistici per la predizione/validazione di interazioni e il test di ipotesi su networks.

In ambito teorico si studiano anche tecniche di soft computing per le decisioni in ambito imprecisoformalizzato tramite la logica fuzzy.

Componenti: Luca Barzanti, Giacomo Bormetti, Marco Antonio Boschetti, Pierluigi Contucci, Roberto Dieci, Fabrizio Lillo, Emanuele Mingione, Massimo Spadoni, Daniele Tantari.

Assegnisti/dottorandi: Diego Alberici, Piero Mazzarisi, Silvia Zaoli, Francesco Camilli.