

## PIANO ANNUALE DELLE RICERCHE DEL DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA – ANNO 2019

Le attività di ricerca del Dipartimento si sviluppano trasversalmente lungo tutta l'Area 01 – Scienze matematiche e informatiche (con l'eccezione dei SSD MAT/01 e MAT/09) e nel SSD FIS/03 dell'Area 02 – Scienze fisiche. Di seguito le principali tematiche che si prevede di approfondire suddivise per settore scientifico disciplinare.

### **MAT/02 Algebra**

Si distinguono due ambiti di ricerca:

#### **A. Identità polinomiali.**

Ricercatori coinvolti: Antonio Giambruno (PO), Daniela La Mattina (PA), Francesca Benanti (RU), Carla Rizzo (D);

#### **B. Algebra categoriale intrinseca.**

Ricercatori coinvolti: Giuseppe Metere (RTDB).

#### 1. Piano di ricerca per l'anno 2019.

##### **A. Identità polinomiali di un'algebra su un campo di caratteristica zero.**

La ricerca è focalizzata nello studio delle identità polinomiali di un'algebra su un campo di caratteristica zero, ovvero nello studio dei T-ideali dell'algebra libera mediante metodi combinatori ed asintotici che fanno riferimento alle rappresentazioni dei gruppi simmetrici e generali lineari. Il calcolo asintotico dei gradi delle rappresentazioni irriducibili del gruppo simmetrico in caratteristica zero è ben noto ed un'analisi della decomposizione del co-carattere di un'algebra in caratteri irriducibili per il gruppo simmetrico permette di ottenere valutazioni asintotiche che determinano invarianti delle corrispondenti varietà. Uno studio analogo è stato iniziato negli ultimi anni riguardante i polinomi centrali di un'algebra associativa. In quest'ambito sono stati definiti due ulteriori invarianti del corrispondente T-spazio dell'algebra libera ed uno degli obiettivi è quello di studiare tali invarianti mettendoli in relazione con gli invarianti noti dei T-ideali. Per algebre non associative si studierà la crescita dei polinomi centrali nell'ambito delle rappresentazioni delle algebre di Lie semplici di dimensione finita. Per algebre munite di una funzione traccia si sono definite e studiate le identità polinomiali con traccia. In quest'ambito si cercherà di classificare le varietà di algebre con traccia di crescita quasi polinomiale.

In modo più dettagliato si analizzeranno vari aspetti di questa teoria al fine di ottenere i seguenti risultati:

- 1.** per algebre non associative si cercherà di classificare alcune varietà significative quali ad esempio le varietà quasi nilpotenti. Si cercherà anche di studiare la crescita "overexponential" delle varietà di algebre non associative;
- 2.** per algebre con super-involuzione o involuzione graduata si studieranno le corrispondenti varietà a crescita polinomiale o quasi polinomiale allo scopo di ottenere classificazioni significative in ambiti di rilievo;
- 3.** il legame esistente tra l'involuzione Grassmanniana di una opportuna algebra con superinvoluzione e le varietà di algebre con involuzione sarà ulteriormente sviluppato per ottenere risultati generali validi per PI-algebre con involuzione;
- 4.** analisi e studio del T2-ideale generato dai polinomi Standard graduati, allo scopo di ottenere una nuova caratterizzazione del T2-ideale delle identità graduate di ciascuna delle super-algebre semplici. Una ricerca analoga sarà effettuata nell'ambito delle algebre con involuzione.
- 5.** si studieranno le identità differenziali di algebre significative su cui agisce un'algebra di Lie di derivazioni. Lo scopo primario è quello di determinare la crescita asintotica di tali identità.

6. l'esistenza dei polinomi centrali per le matrici  $n \times n$  ha svolto un ruolo fondamentale per lo sviluppo della teoria delle PI-algebre. Si cercherà di ottenere la crescita esponenziale determinata dai polinomi centrali per un'algebra soddisfacente una identità polinomiale confrontandola anche con la crescita esponenziale determinata dalle identità polinomiali.

Un ulteriore campo di ricerca in quest'ambito potrà riguardare lo studio delle algebre gruppali ed il legame esistente tra le identità polinomiali dell'algebra e le identità gruppali del corrispondente gruppo delle unità. Tale legame fa riferimento ad una congettura di Hartley, risolta alcuni anni fa. Un'evoluzione di questa congettura riguarda problemi di classificazione del gruppo generatore.

**B. Algebra categoriale intrinseca, co-omologia non abeliana e strutture categoriali interne.**

Algebra categoriale intrinseca: un approccio fibrazionale alla co-omologia non abeliana e allo studio delle strutture categoriali interne. Uno studio delle categorie di varietà algebriche (nel senso dell'algebra universale) consiste nella formalizzazione di sistemi di assiomi per i quali certe proprietà delle strutture algebriche in questione diventano proprietà categoriali.

Per il 2019 ci proponiamo di continuare lo studio delle strutture categoriali interne a categorie (non solo) semi-abeliane, e delle loro proprietà, con particolare attenzione agli aspetti co-omologici non-abeliani basso-dimensionali. A questo scopo, si propone una teoria basata sulla nuova nozione di *fiberwise opfibration*, che estende a contesti non abeliani la nozione di *regular span* elaborata da N. Yoneda negli anni '60 del secolo scorso. Tale nozione verrà studiata dal punto di vista formale in un contesto 2-categoriale.

2. Fondi con cui si intende attuare le attività delle due linee di ricerca A e B.

**A.** Le visite all'estero saranno finanziate da enti di ricerca d'Israele, Brasile e Canada. Presumibilmente un periodo di ricerca all'estero di uno studente di dottorato sarà finanziato per quanto riguarda il viaggio dallo stesso dottorato.

Sono anche previsti finanziamenti del GNSAGA - INDAM.

**B.** I periodi di permanenza e la partecipazione ai convegni saranno finanziati dai fondi personali ottenuti tramite bando MIUR per il "FFABR: Finanziamento annuale individuale delle attività base di ricerca", da fondi personali di Ateneo, dal gruppo INDAM - GNSAGA.

3. Livello di internazionalizzazione.

**A.** Sono previsti periodi di permanenza per collaborazioni di ricerca presso la University of Alberta, Edmonton, Canada, il Technion, Haifa, Israele, l'Università di San Paolo, l'Università Federale di Minas Gerais, l'Università di Campinas, Brasile. Sono inoltre previste visite di ricerca a Palermo dei prof. E. Aljadeff (Technion, Haifa, Israele), S. Mishchenko (Ulyanovsk State University, Russia), M. Zaicev (Moscow State University, Russia).

**B.** Sono previsti periodi di permanenza con collaborazioni di ricerca presso l'Université Catholique de Louvain, Belgio, e l'Università degli Studi di Milano.

Dal 17 al 19 maggio 2019, organizzeremo (in partnership con Università di Milano e UCL – Louvain-la-Neuve) "PSSL105 + satellite event Categorical Methods in Algebra", presso il Dipartimento di Matematica e Informatica – Università di Palermo.

E' prevista la partecipazione a convegni nazionali e internazionali, tra cui "Category Theory 2019", 7-13 Luglio 2019, Edimburgo.

**MAT/03 Geometria**

Si distinguono due ambiti di ricerca:

**A. Fondamenti di Geometria ed Algebre di Lie.**

Ricercatori coinvolti: Claudio Bartolone (PO), Giovanni Falcone (RU), Alfonso Di Bartolo (RU);

**B. Geometria algebrica.**

Ricercatori coinvolti: Vassil Kanev (PO), Luca Ugaglia (PA).

1. Piano di ricerca per l'anno 2019.

**A. Fondamenti di Geometria ed Algebre di Lie.**

Sono previste quattro linee di ricerca.

1. Lo studio delle derivazioni di un'algebra di Lie nilpotente di tipo  $\{2n, 1, 1\}$  ha prodotto nel 2018 una pubblicazione su rivista ISI, che si aggiunge ai quattro articoli pubblicati negli anni precedenti, sempre su riviste ISI. Procedendo in questa direzione, s'intendono classificare derivazioni non nulle di algebre di Lie nilpotenti di tipo  $\{n, 1, \dots, 1\}$ .

2. Studio dei codici di Goppa su curve iperellittiche, con particolare attenzione al calcolo di una opportuna base dello spazio di Riemann-Roch.

3. Portando avanti le ricerche svolte l'anno passato, si vogliono caratterizzare quei disegni ottenuti da un campo di Galois in modo che i blocchi siano esattamente i sottoinsiemi di  $k$  elementi la cui somma è zero e i loro automorfismi. Questa ricerca verrà svolta in collaborazione con il prof. Marco Pavone del Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'informazione e Modelli matematici.

4. Con riferimento a lavori pubblicati negli anni precedenti, si vogliono studiare i loops che restano associati ad un sistema di triple  $\{a, b, c\}$  di Steiner ponendo  $a+b+c=0$ , dove  $0$  è un elemento fissato (si osservi che questa definizione differisce in modo sensibile da quella considerata finora in letteratura, dove si è posto  $a+b=c$ ).

**B. Geometria algebrica.**

Sono previste tre linee di ricerca.

1. Si intende completare il lavoro svolto negli ultimi anni sulle proprietà modulari degli spazi di Hurwitz, che parametrizzano rivestimenti di una curva fissata con speciale gruppo di monodromia. Si intende studiare il problema di esistenza di punti definiti su campi non algebricamente chiusi (ad esempio  $\mathbb{Q}$ ) di questi spazi di Hurwitz.

2. Sia  $X$  una varietà torica proiettiva, descritta come chiusura dell'immagine di un'applicazione monomiale associata ad un numero finito di punti interi in uno spazio affine. Si intende studiare la relazione esistente tra il luogo base della  $m$ -esima forma fondamentale di  $X$  in un punto generale e la posizione dei punti interi nello spazio affine. In particolare si vogliono analizzare le possibili applicazioni, quali lo studio del luogo base stabile di divisori sullo scoppimento della varietà torica in un punto generale. Questo dovrebbe permettere di produrre nuovi esempi di divisori non semiampi, e dunque esempi di varietà proiettive che non sono spazi Mori dream (in particolare nella categoria degli scoppimenti di spazi proiettivi pesati).

3. Infine si intende proseguire con la descrizione dell'anello di Cox di una curva ellittica definita su un campo perfetto, in relazione al gruppo di Mordell-Weil dei punti razionali sulla curva stessa.

2. Fondi con cui si intende attuare l'attività di ricerca.

In attesa di poter rispondere ai bandi locali, nazionali e internazionali (rispettivamente, bando CoRI e fondi FFR, bando PRIN e GNSAGA, action Marie Curie people), si utilizzeranno le risorse messe a disposizione dall'Ateneo (fondo di ricerca dipartimentale) e da altri Atenei (ad es., l'università di Debrecen ha espresso l'impegno a continuare a sostenere le spese relative alla collaborazione con quell'Ateneo).

### 3. Livello di internazionalizzazione.

Le ricerche saranno svolte in collaborazione con colleghi dei seguenti paesi:

**A.** - Ungheria (Agota Figula e Carolin Hannusch, Debrecen);

- Sud Africa (Rory Biggs, Pretoria).

**B.** - Cile (Antonio Laface, Concepcion).

### **MAT/04 Matematiche complementari**

Si distinguono due ambiti di ricerca:

**A. Storia della matematica.**

Ricercatori coinvolti: Cinzia Cerroni (PA), Maria Alessandra Vaccaro (RU), Aldo Brigaglia (CE), Giulia Buttitta (D), Donatella Maria Collura (D), Miglena Asenova (D).

**B. Didattica della matematica.**

Ricercatori coinvolti: Benedetto Di Paola (RTD B); Giulia Buttitta (D), Donatella Maria Collura (D), Miglena Asenova (D).

#### 1. Piano di ricerca per l'anno 2019

**A. Storia della matematica.** Sono previste le seguenti linee di ricerca:

**1.** Storia della Geometria Algebrica con particolare riferimento alle opere di Luigi Cremona e Corrado Segre.

**2.** Lo studio e la storia delle trasformazioni quadratiche e il loro ruolo nella prima formulazione del concetto di trasformazione birazionale, partendo dai lavori di L. Magnus e G. Schiaparelli per concludere con quelli di L. Cremona, E. Beltrami e T. Hirst.

**3.** Le complesse vicende legate allo studio di problemi "elementari" nel corso del tempo, quali quelli relativi alle origini e sviluppo delle cubiche ellittiche legate alla Geometria del triangolo.

**4.** Tracciare l'evoluzione storica che partendo dalla configurazione del quadrilatero completo e le relative proprietà, attraverso la catena di Clifford arriva a determinare, per ciascun passo della suddetta catena, la corrispondenza con i politopi nello spazio n-dimensionale.

**5.** La storia dello sviluppo delle geometrie non desarguesiane e non archimedee con quella, a esse collegate, delle algebre (ottonioni, ecc.).

**6.** Ricerche collegate al Circolo Matematico di Palermo, in particolare approfondire i rapporti tra G.B. Guccia, H. Poincaré e G. Mittag Leffler.

**7.** La pubblicazione di carteggi e altro materiale d'archivio con speciale riferimento a Luigi Cremona, E. Beltrami, G. Battista Guccia, Placido Tardy e ai matematici napoletani.

**8.** Le origini e la successiva formalizzazione matematica delle figure geometriche stellate, dal loro impiego nell'arte alla definitiva matematizzazione da parte di Keplero, passando per i meno noti matematici del medioevo che contribuirono alla loro sistematizzazione teorica.

**9.** Nel quadro della nascita della scienza nazionale italiana durante il Risorgimento, si analizzerà l'influenza della presenza in Italia di matematici stranieri nel periodo pre-unitario sull'ambiente scientifico italiano ed in particolare sulle riviste, quali gli Annali e il Giornale di Matematiche.

**10.** Il sorprendente ruolo della matematica nella letteratura (in collaborazione con la dott.ssa Elena Toscano, RU MAT/08).

**B. Didattica della Matematica.** Sono previste le seguenti linee di ricerca:

**1.** Linguistico-matematico: si propongono ricerche torico-sperimentali atte ad analizzare sperimentalmente la disciplina in oggetto come Linguaggio;

**2.** Matematica, Scienze e realtà: si propongono collegamenti interdisciplinari tra Matematica, Fisica, Scienze, Statistica, Letteratura, Musica etc. con particolare riferimento ai modelli e ai

processi cognitivi sottesi all’Insegnamento/Apprendimento delle stesse in contesti scolastici, come ad esempio quelli definiti nei Licei matematici (LM) attivati a Palermo;

**3. Matematica e cultura:** si propongono ricerche finalizzate alla comparazione di processi cognitivi messi in atto da studenti di cultura differente inseriti nelle classi italiane e non solo. Tali riflessioni fanno da sfondo per la definizione di un Quadro teorico per la formazione insegnanti in contesti multiculturali come quello della “trasposizione culturale” e per la definizione/realizzazione di strumenti didattici realizzati ad hoc;

**4. Neuroscienze e Insegnamento/Apprendimento delle Matematiche:** si analizzano errori, ostacoli e misconcetti rintracciati nella pratica didattica matematica in classe alla luce di possibili riflessioni discusse in letteratura in ambito neuro-scientifico;

**5. Aspetti metodologici di analisi quantitativa e qualitativa per la ricerca in Didattica:** si approfondisce l’utilizzo di metodiche di tipo qualitativo (analisi audio-video; interviste; protocolli etc.) e quantitativo (clustering gerarchico/non gerarchico e analisi implicativa) per l’analisi dei processi messi in luce dagli studenti nel problem solving matematico;

**6. Rapporti tra Storia e Didattica della Matematica:** si discutono alcuni aspetti teorico-sperimentali relativi alle problematiche storico/didattiche nella pratica matematica d’aula e nella formazione insegnanti in servizio e pre-servizio.

## 2. Fondi con cui si intende attuare le attività di cui sopra.

**A.** Fondi GNSAGA-INDAM;

**B.1.** ERASMUS+ Innovative Mathematics Learning Software for Migrant Student (immiMATH);

**B.2.** Fondo GIMAT per la formazione insegnanti.

## 3. Livello di internazionalizzazione.

**A.** Molte sono le collaborazioni con altri gruppi di ricerca nazionali e internazionali. In particolare, per quello che riguarda il materiale di archivio ci sono collaborazioni con l’Università di Milano e di Torino, l’Università di Perugia e l’Università della Basilicata. Per le altre ricerche, ci sono collaborazioni con l’Università di Lille e di Nancy. Si segnala inoltre la partecipazione al progetto CIRMATH Italo-Francese.

**B.** Molte sono le collaborazioni con altri gruppi di ricerca nazionali e internazionali in Didattica della Matematica che lavorano sulle stesse tematiche di ricerca. Tra questi: il gruppo di ricerca di Bari, Bologna, Bolzano, Catania, Modena-Reggio Emilia, Roma, Salerno etc. per il contesto nazionale; il gruppo di ricerca di San Diego, (California, USA), il gruppo di ricerca di Pechino (Cina), quello che lavora a Barcellona (Spagna) e quello svizzero (Locarno), per quanto riguarda il contesto internazionale.

A queste si aggiungono le collaborazioni di ricerca e divulgazione di pratiche didattiche con i partner stranieri (AT, CY, CZ, LT, UK, SK); collaborazioni di ricerca in MAT/04, definite anche grazie ai progetti europei di Didattica della Matematica che vedono Benedetto Di Paola come coordinatore locale e UniPa partner di progetto.

## **MAT/05 Analisi Matematica**

Si distinguono i seguenti ambiti ricerca:

**A.** *Teoria degli operatori e delle algebre di operatori.*

Ricercatori coinvolti: Camillo Trapani (PO); Francesco Tschinke (RU); Giorgia Bellomonte (RTD) Rosario Corso (D); Maria Stella Adamo (PhD, esterna).

**B.** *Integrazione, spazi funzionali, problemi di convergenza e applicazioni.*

Ricercatori coinvolti: Luisa Di Piazza (PO), Diana Caponetti (PA), Valeria Marraffa (PA).

C. *Equazioni differenziali e punti fissi.*

Ricercatori coinvolti: Calogero Vetro (RU), Pasquale Vetro (CE), Antonella Nastasi (D) con la collaborazione di Elena Toscano (RU MAT/08).

D. *Equazioni differenziali alle derivate parziali.*

Ricercatori coinvolti: Giulio Cirao (PA), Francesca Dalbono (RU).

E. *Integrazione astratta e applicazioni, problemi semilineari ellittici e problemi di frontiera libera.*

Ricercatori coinvolti: Francesco Tulone (RU)

F. *Metodi variazionali e topologici per problemi differenziali non lineari.*

Ricercatori coinvolti: Roberto Livrea (PA), Diego Averna (PA), Elisabetta Tornatore (RU), Angela Sciammetta (CE).

1. Piano di ricerca per l'anno 2019.

A. *Teoria degli operatori e delle algebre di operatori.* L'attività è articolata fondamentalmente su due linee:

A1) Proprietà di struttura di alcuni tipi di quasi\*-algebre localmente convesse. In quest'ambito, si intende affrontare le seguenti questioni.

a) Continuità dei funzionali rappresentabili e degli \*-automorfismi di una quasi \*-algebra di Banach.

b) Completamento degli studi già condotti sulle \*-algebre localmente convesse che ammettono una famiglia sufficiente di rappresentazioni ed estensione al caso di quasi \*-algebre.

I risultati ottenuti, e già pubblicati o in corso di pubblicazione, sul punto (a) sono solo parziali e forniscono solo alcune condizioni sufficienti. Si intende perciò approfondire quest'analisi per giungere a risultati più completi.

Su questi argomenti è in corso la revisione finale di un'opera monografica di sintesi in collaborazione con la Prof. Maria Fragoulopoulou (Università di Atene).

A2) Basi, frames e problemi di approssimazione.

Su questi aspetti sono state fin qui studiate generalizzazioni del concetto di base in strutture hilbertiane (basi di Riesz generalizzate, basi distribuzionali, frames, "reproducing pairs"). Si intende generalizzare la cosiddetta decomposizione atomica del range di un operatore, già effettuata per operatori non limitati dello spazio di Hilbert nel caso discreto, al caso continuo e anche al caso di spazi di Hilbert rigged allo scopo di analizzare la possibilità dell'esistenza di autovettori generalizzati nel senso di Gelfand di alcune classi di operatori.

Utilizzando i risultati ottenuti in anni recenti sulla rappresentazione mediante operatori di forme sesquilineari non necessariamente positive, si intende approfondire lo studio delle forme sesquilineari associate a successioni dello spazio di Hilbert che costituiscono "frames" e l'estensione di questi risultati al caso continuo.

Nell'ambito di questa seconda linea di ricerca si sta organizzando il Workshop internazionale su Frames, Wavelets, Approximation Methods and Applications che si svolgerà a Palermo dal 16 al 19 Settembre 2019.

B. *Integrazione, spazi funzionali, problemi di convergenza e applicazioni.*

- Integrazione univoca e multivoca. Si intende proseguire l'analisi e lo studio delle diverse generalizzazioni dell'integrale di Lebesgue, al fine di ottenere, sia in assetto univoco che multivoco, una teoria consistente e teoremi di passaggio al limite utili per lo studio di proprietà di approssimazione di famiglie di operatori discreti di tipo rete neurale e campionamento in appropriati spazi funzionali.

- Risultati di convergenza per integrali non assolutamente convergenti e applicazioni a problemi differenziali. Si intende continuare lo studio di problemi di convergenza per integrali non assolutamente convergenti. In particolare si è interessati a risultati di convergenza per integrali di tipo Stieltjes e alle loro applicazioni per l'approssimazione delle soluzioni di un problema differenziale governato da una misura. Nello studio dell'evoluzione di un gran numero di processi nella vita reale, si osserva che le grandezze misurate hanno spesso discontinuità. Ad

esempio, si trova tale caratteristica ogni volta che in un'evoluzione continua di un fenomeno si verificano perturbazioni discrete. Si intende, pertanto, studiare l'approssimazione delle soluzioni di un problema differenziale governato da una misura priva di buone caratteristiche, mediante le soluzioni di problemi differenziali simili, governati da misure più "regolari".

- Operatori lineari caotici. L'approssimazione delle soluzioni di alcuni problemi differenziali ed integrali spesso porta allo studio della dinamica di una successione del tipo  $\{x, T(x), T(T(x)), T(T(T(x))), \dots\}$ , comunemente chiamata "traiettoria" di  $x$ , dove  $T$  è una funzione continua da uno spazio metrico  $X$  in sé e  $x$  è un elemento di  $X$ . Centrale nello studio di questi problemi è la ricerca e definizione dell'insieme dei punti approssimati da elementi delle traiettorie, comunemente chiamati "attrattori" di  $X$ , e sovente aventi una struttura estremamente complicata. La descrizione degli attrattori dei sistemi dinamici caotici è stata uno dei successi della teoria del caos. Si intende proseguire lo studio degli attrattori e delle varie forme di caos di operatori di composizione su spazi  $L_p$ . In particolare si intendono studiare gli operatori di composizione indotti da odometri non singolari, e caratterizzare quelle misure sugli odometri che inducono operatori che sono Li-Yorke caotici, o transitivi, o "mixing".

- Spazi funzionali. Permane l'interesse per la stima della misura di non compattezza di retrazioni su sfere in spazi funzionali, si intende continuare lo studio già intrapreso del caso di funzioni di classe  $C_k$  definite su intervalli non limitati, con l'intento di applicare i risultati alle equazioni integrali.

C. *Equazioni differenziali e punti fissi*. Si distinguono due linee di ricerca:

1. (C. Vetro, A. Nastasi) Equazioni differenziali e punti critici. La nostra ricerca è finalizzata allo studio di sistemi ellittici non lineari contenenti il  $(p,q)$ -Laplaciano ( $1 < q < p$ ) e con le condizioni di Dirichlet, di Neumann e di Robin. Inoltre, utilizzando operatori alle differenze, verranno considerate le versioni discrete di alcuni problemi differenziali. Si intendono esaminare i casi in cui il termine non lineare dipende o meno dal gradiente. Si utilizzeranno metodi variazionali, metodi di troncamento, tecniche di comparazione e di sotto e sopra-soluzioni per studiare l'esistenza e la molteplicità delle soluzioni. Sotto opportune condizioni sul termine non lineare si ricercheranno soluzioni di segno costante. Utilizzando la teoria di Morse (gruppi critici) si esaminerà l'esistenza di soluzioni nodali.

2. (C. Vetro, P. Vetro, A. Nastasi con la collaborazione di E. Toscano) Metodi di punto fisso. Studio e approssimazione delle soluzioni di problemi integro-differenziali in diversi spazi ambiente, mediante tecniche di punto fisso. Elaborazione e ricostruzione di segnali su grafi a partire da campioni parziali, mediante la generalizzazione e combinazione di schemi iterativi di punto fisso.

D. *Equazioni differenziali alle derivate parziali*. Distinguiamo due linee di ricerche:

1) (G. Ciraolo) Siamo interessati allo studio delle simmetrie e delle simmetrie approssimate per problemi sovradeterminati di tipo ellittico in varietà Riemanniane e di Finsler e per problemi di rigidità in analisi geometrica per ipersuperfici a curvatura costante, con applicazione a problemi di capillarità, e per il classico problema di Yamabe.

Inoltre, si vogliono studiare problemi di interesse nelle applicazioni che derivano dallo studio di base sui materiali compositi. In particolare, si vogliono dare stime ottimali sul blow up del gradiente per problemi di propagazione ondosa in cui due inclusioni risultano molto vicine, con particolare interesse alla propagazione in materiali anisotropi.

2) (F. Dalbono) Studio di esistenza e molteplicità di soluzioni radiali positive per l'equazione della curvatura scalare, usando la teoria delle varietà invarianti, con particolare interesse per risultati di molteplicità in assenza di ipotesi di simmetria sul peso. Studio di molteplicità di soluzioni per problemi di Dirichlet asintoticamente lineari associati ad una classe di sistemi bidimensionali del secondo ordine, adottando la teoria dell'indice di Morse e le nozioni di angoli di fase.

E. *Integrazione astratta e applicazioni, problemi semilineari ellittici e problemi di frontiera libera*.

Si distinguono le seguenti 3 linee di ricerca:

1. Integrali non assolutamente convergenti, con applicazioni alla teoria della unicità dei coefficienti.
2. Integrazione astratta e equazioni ellittiche. Si studieranno l'esistenza, quantità e regolarità delle soluzioni di alcune equazioni ellittiche.

3. Problemi di frontiera libera. Per i problemi di frontiera libera si affronterà lo studio della regolarità della soluzione di un problema “fully-nonlinear” a due fasi.

F. *Metodi variazionali e topologici per problemi differenziali non lineari.*

Si prevede di fornire nuovi teoremi di esistenza e molteplicità per equazioni differenziali ordinarie o alle derivate parziali sotto condizioni al bordo di natura diversa. Ad esempio si pensa trattare i seguenti casi: problemi in cui l'operatore differenziale è di tipo  $(a,2)$ -Laplaciano, con  $a$  operatore non omogeneo; problemi ordinari in cui l'equazione vede la presenza dell'operatore di curvatura di Minkowski; problemi in cui l'usuale  $(p,q)$ -Laplaciano è eventualmente modificato in modo da perdere la struttura ellittica. Per ottenere i risultati attesi si pensa di adottare opportune combinazioni dei metodi topologici con i metodi variazionali. Un ruolo di rilievo verrà giocato da alcuni recenti teoremi di minimo locale per funzionali, possibilmente non differenziabili, e da certe generalizzazioni del ben noto Teorema del Passo Montano di Ambrosetti-Rabinowitz.

2. Fondi con cui si intende attuare le attività di ricerca.

A. Progetto GNAMPA –INdAM – Fondi FFR

B. Progetto GNAMPA-INDAM 2018. GNAMPA-IndAM visitatori 2019. Fondi FFR Finanziamento Attività Base Ricerca (FFABR) 2017.

C. 1)Fondi: GNAMPA, progetto premiale INdAM/INGV “SIES”, ERASMUS+ 2) GNAMPA-INDAM (partecipante progetto finanziato con altra sede).

D. Eventuali fondi di Ateneo o Gnampa.

E. GNAMPA-IndAM

F. GNAMPA-INDAM, Finanziamento Attività Base Ricerca (FFABR) 2017, eventuale progetto PRIN proposto e in attesa di valutazione.

3. Livello di internazionalizzazione.

A. Sulle queste linee di ricerca sono in atto collaborazioni con studiosi di diversi paesi europei (Austria, Belgio, Danimarca, Grecia, Polonia) e giapponesi.

B. Cooperazione scientifica con Kazimierz Musial dell'Università di Wroclaw (Polonia), Bianca Satco dell'Università Stefan cel Mare di Suceava (Romania), Mieczyslaw Cichon dell'Università di Poznan (Polonia), Udayan B. Darji dell'Università di Louisville (USA).

C. Cooperazione scientifica con Dumitru Motreanu, University of Perpignan (France), Nikolaos S. Papageorgiou, National Technical University of Athens (Greece) e Dariusz Wardowski (Poland). Varie collaborazioni con studiosi attivi nell'ambito della teoria dei punti fissi in Arabia Saudita, Giappone, India, Iran, Pakistan, Romania, Sudafrica.

D. 1) Il progetto di ricerca rientra in una collaborazione più ampia con membri della University of Texas at Austin (USA), ETH Zurich (Svizzera), INHA University (Corea del Sud), University of Western Australia. 2) Visiting presso il CMAF-CIO, Università di Lisbona, Portogallo, dal 27/02/2019 al 31/05/2019.

E. Collaborazioni con autori stranieri (Russia, Georgia, Polonia, USA).

F. Collaborazioni con autori stranieri: Prof. Mawhin (Belgio), Prof. Tersian (Bulgaria), Prof. Motreanu (Francia), Prof. Winkert (Germania), Prof. Papageorgiou (Grecia), Prof. Sanchez (Portogallo), Prof. Perera (USA).

## **MAT/06 Probabilità e Statistica Matematica**

Ricercatori coinvolti: G. Sanfilippo (PA).

1. Piano di ricerca per l'anno 2019

A. *Operazioni logiche generalizzate tra eventi condizionati.* Verrà portato avanti lo studio sulla generalizzazione delle operazioni logiche di intersezione e di unione al caso di  $n$  eventi condizionati. Come mostrato in recenti lavori l'intersezione e l'unione di  $n$  eventi condizionati sono rappresentate da opportuni numeri aleatori condizionati a valori nell'intervallo unitario. Nel quadro

della coerenza verranno studiati gli estremi inferiori e superiori per la previsione dell'intersezione di ogni sottofamiglia finita di  $n$  eventi condizionati. Tali estremi verranno messi in relazione con le norme triangolari molto utilizzati nella logica fuzzy. Il caso di tre eventi condizionati verrà analizzato in dettaglio e verranno analizzati diversi esempi di casi particolari.

**B. Condizionamento iterato e inferenza probabilistica.** Sarà studiato il ruolo del condizionamento iterato nell'inferenza probabilistica. Verrà dapprima mostrato che dati due eventi condizionati  $A|H$  e  $B|K$ , si ha che  $A|H$   $p$ -implica  $B|K$  se e solo se il numero aleatorio  $(B|K)|(A|H)$  è costante e coincide con 1. Inoltre, si mostrerà che una famiglia  $p$ -consistente di eventi condizionati  $F = \{E_1|H_1, E_2|H_2\}$   $p$ -implica un ulteriore evento condizionato  $E_3|H_3$  se e solo se  $E_3|H_3 = 1$ , oppure  $(E_3|H_3)|QC(S) = 1$  per qualche sottoinsieme non vuoto  $S$  di  $F$ , dove  $QC(S)$  è la quasi congiunzione degli eventi in  $S$ . Si mostrerà inoltre che la condizione  $QC(F)|C(F) = 1$ , dove  $C(F)$  è l'intersezione degli eventi condizionanti in  $F$ , rappresenta un'ulteriore caratterizzazione dell'implicazione probabilistica di  $E_3|H_3$  da parte di  $F$ . Alcune ben note regole di inferenza verranno esaminate (And rule, Cut rule, Cautious Monotonicity,...) e verranno forniti dei metodi per costruire delle regole di inferenza valide a partire da alcune non valide.

**C. Sillogismi condizionali generalizzati nel quadro della coerenza.** Si porterà avanti lo studio sulle generalizzazioni dei sillogismi condizionali (modus ponens, modus tollens, negazione dell'antecedente, affermazione del conseguente) in cui le premesse e le conclusioni non condizionate (ad esempio  $A$ ,  $C$ ) verranno sostituite con eventi condizionati ( $A|H$ ,  $C|K$ ) e la premessa condizionata (ad esempio  $C|A$ ) verrà sostituita con un evento condizionato iterato  $((C|K)|(A|H))$ . Analogamente a quanto fatto di recente per la generalizzazione del modus ponens probabilistico, per ogni sillogismo generalizzato verrà analizzato l'insieme di tutte le assegnazioni probabilistiche coerenti sulla terna composta dalle due premesse e dalla conclusione. Tale analisi necessita dell'introduzione di una opportuna definizione di coerenza che coinvolga assegnazioni "probabilistiche" anche su eventi condizionati iterati e sull'intersezione di eventi condizionati. Un'interpretazione in termini geometrici della nozione di coerenza, consentirà di avere una visione unificata e strutturalista dei quattro sillogismi condizionali.

**D. Distribuzioni a posteriori che in alcuni casi imitano la frequenza osservata.** Una distribuzione su  $n+1$  eventi si dice che "imita" la frequenza quando la probabilità dell'evento  $n+1$  esimo condizionato al risultato dei primi  $n$  eventi coincide con la frequenza relativa di successo calcolata sui primi  $n$  eventi. In tale ambito, si vorranno studiare le proprietà di distribuzioni di probabilità che "imitino" la frequenza soltanto per valori che stanno in un fissato intervallo e che coinvolgono eventi cosiddetti scambiabili. La costruzione non parametrica di tali distribuzioni si baserà sul teorema fondamentale delle probabilità di "de Finetti" e si cercherà di calcolare analiticamente la distribuzione limite della frequenza relativa di successi.

**E. Regole di punteggio appropriate per previsioni probabilistiche.** Si forniranno i risultati relativi ad uno studio che riguarda l'uso delle proper scoring rules per valutare la qualità di previsioni probabilistiche. In particolare si considererà una situazione in cui due proponenti preferiscono essere valutati mediante una procedura che dipende dalla previsione probabilistica dell'altro piuttosto che dalla propria. A tal proposito viene fornito un ottimo di Pareto sugli scambi delle valutazioni tra i due proponenti. Un caso particolare che coinvolge la divergenza di Kullback e la corrispondente misura simmetrizzata viene applicato ad una procedura di previsione basata su osservazioni sequenziali e su un apprendimento bayesiano.

## 2. Fondi con cui si intende "attuare" le attività di cui sopra.

Si utilizzeranno i fondi rimanenti del FFABR, i fondi di ricerca di Ateneo ed eventuali fondi Gnampa.

## 3. Livello d'internazionalizzazione

**B.** Questo programma prevede la collaborazione con David Over dell'Università di Durham del Regno Unito.

**C.** Questo programma prevede la collaborazione con Niki Pfeifer dell'Università di Regensburg (Germania).

**D, E.** Questo programma prevede la collaborazione con Frank Lad dell'Università di Canterbury, Christchurch, Nuova Zelanda.

### **MAT/07 Fisica Matematica**

Si distinguono due ambiti di ricerca:

**A. Modelli matematici e sistemi dinamici.**

Ricercatori coinvolti: Marco Maria Luigi Sammartino (POE), Maria Carmela Lombardo (PA), Vincenzo Sciacca (PA), Gaetana Gambino (PA), Francesco Gargano (RTDAE), Andrea Argenziano (D), Faezeh Farivar (D), Valeria Giunta (D), Gianfranco Rubino (D), Antonio Maria Greco (CE), Rossella Rizzo (CE);

**B. Meccanica statistica e struttura della materia.**

Ricercatori coinvolti: Valeria Ricci (RU).

1. Piano di ricerca per l'anno 2019.

**A. Modelli matematici e sistemi dinamici. Distinguiamo le seguenti sei linee di ricerca.**

**1.** Modellistica matematica mediante sistemi di reazione-diffusione con diffusione non lineare. Negli ultimi anni le equazioni di tipo reazione-diffusione sono state ampiamente utilizzate per descrivere il meccanismo attraverso il quale la rottura di omogeneità e l'auto-organizzazione (nello spazio e nel tempo) conducono alla nascita di nuove strutture coerenti (pattern). Grande attenzione è stata data alla generazione di pattern di tipo Turing, strutture periodiche nelle variabili spaziali e stazionarie nel tempo, la cui formazione è essenzialmente dovuta alla destabilizzazione, per effetto della diffusione, di uno stato stazionario stabile per il sistema di reazione. La Turing instabilità è stata largamente studiata in sistemi in cui la cinetica non lineare è accoppiata alla diffusione lineare, ipotesi quest'ultima semplificatrice e non ammissibile per la descrizione dei fenomeni di diffusione in diversi contesti, dalla biochimica ai sistemi geologici con eterogeneità, dall'ecologia a processi industriali come l'elettrodeposizione.

**1.1** Sistemi di tipo Reazione-Diffusione con cross-diffusione lineare. E' noto che l'esistenza globale delle soluzioni, in sistemi reazione-diffusione con matrice di diffusione completa (quindi in presenza di cross diffusione lineare), è dimostrabile solo nel caso di cinetiche per cui valgono leggi di bilancio. Ci si propone di dimostrare l'esistenza globale delle soluzioni in casi meno restrittivi, ad esempio per la cinetica di tipo Schnakenberg, in cui la sola proprietà di cancellazione dei termini non lineari (dovuta alla reversibilità della reazione chimica) dovrebbe permettere di determinare un controllo uniforme sulla massa totale delle componenti, che suggerirebbe così l'impossibilità di blow up in un tempo finito. La cross diffusione lineare non assicura, inoltre, la positività delle soluzioni. Ci si propone, dunque, di indagare sotto quali condizioni tale positività si preserva.

**1.2** Sistemi di tipo Reazione-Diffusione per la modellizzazione di malattie infiammatorie (Eritemi, Sclerosi Multipla, gliomi cerebrali). Si intendono sviluppare modelli matematici per la descrizione di una classe di malattie che condividono una patogenesi di tipo infiammatorio; nella fattispecie si descriveranno i meccanismi che determinano l'insorgenza di fenomeni di rash cutaneo (quali il Lyme disease, l'eritema ricorrente multiforme) e della Sclerosi Multipla. In quest'ultimo caso ci si focalizzerà sul processo di demielinizzazione, che determina la formazione delle caratteristiche placche della materia cerebrale. Si intende inoltre tenere conto degli effetti antinfiammatori prodotti da alcune specie di citochine, ciò al fine di descrivere alcuni processi riparativi messi in opera dal sistema immunitario come risposta all'attacco della malattia. Tale risposta immunitaria determina, nel caso degli eritemi, la risoluzione (temporanea o definitiva) dello stato infiammatorio e, nel caso della Sclerosi Multipla, la riparazione spontanea delle lesioni con la conseguente formazione delle

cosiddette shadow plaques. Si adopereranno modelli di tipo reazione–diffusione-chemotassi sia con diffusione cross non lineare, che ben riproducono i processi diffusivi nei mezzi non omogenei quali la materia cerebrale, sia con diffusione di tipo frazionario, per riprodurre la capacità di creazione delle metastasi a lungo raggio, che è una caratteristica tipica dei gliomi cerebrali.

**1.3** Formazione di pattern in sistemi Reazione-Diffusione con bistabilità. Alcuni sistemi reazione-diffusione possono ammettere, per lo stesso set di parametri, più stati stazionari stabili da cui possono insorgere instabilità diffusive diverse che interagiscono tra loro. In tal caso i pattern che si formano sono strutture con ampiezza molto grande dovuta all'accoppiamento dei modi spaziali critici con un modo omogeneo quasi neutrale. Il problema della pattern selection deve, dunque, tenere conto dell'accoppiamento di questi modi e, la classica weakly nonlinear analysis, che si applica nei casi monostabili per prevedere la formazione dei pattern, va opportunamente modificata. Si intende analizzare il meccanismo di formazione dei pattern in un sistema di tipo FitzHugh-Nagumo, che supporta la bistabilità dei suoi stati stazionari omogenei, con cross diffusione lineare. In particolare, in domini bidimensionali si intende mostrare l'insorgere di strutture tipo rombi risonanti e superlattice quasi-periodici.

**2.** Formazione di pattern oscillatori: interazione fra biforcazioni Turing- Hopf e fenomeni non-lineari nel caso sub-critico. È stato recentemente scoperto che alcuni sistemi di reazione-diffusione possono dare luogo, oltre ai pattern di tipo Turing descritti al punto 1), anche a pattern di Turing oscillanti nel tempo (STOS: spatio-temporally oscillating solutions). Si tratta di fenomeni ben diversi dalle oscillazioni uniformi dovute alla presenza di una biforcazione di Hopf nel termine cinetico; essi sono generalmente dovuti o alla risonanza di modi di Turing instabili con sub-armoniche Hopf-instabili oppure all'interazione di modi di Turing instabili con una biforcazione subcritica. Si intende dunque investigare il fenomeno delle STOS in sistemi di tipo reazione-diffusione con termine diffusivo non lineare, sia utilizzando cinetiche di tipo Lengyel-Epstein (per indagare l'interazione con i modi Hopf-instabili), sia utilizzando cinetiche tipo Lotka-Volterra (per indagare l'interazione con la biforcazione subcritica). In entrambi i casi si prevede di procedere con un'analisi di tipo debolmente non lineare in prossimità della biforcazione nonché con tecniche numeriche di tipo continuazione.

**3.** Soluzioni analitiche di equazioni della fluidodinamica. Si intendono dimostrare teoremi di buona posizione per alcune equazioni dissipative della fluidodinamica (per esempio le primitive equations, o le equazioni di Navier-Stokes) con tempi di esistenza che non dipendono dalla dissipazione. È noto che, quando il fluido interagisce con una frontiera si genera uno strato, il cui spessore è dell'ordine della radice quadrata della viscosità, dentro il quale si hanno alti gradienti di “vorticità”, il cosiddetto boundary layer. In detto strato la dinamica è governata dalle equazioni di Prandtl. Si intende dunque sviluppare una procedura asintotica nel limite di viscosità nulla e dimostrare la sua validità rigorosa in opportuni spazi di funzioni analitiche.

**4.** *Studio di formazione di singolarità per le equazioni della Fluidodinamica.*

**4.1.** Fluidi ad alto numero di Reynolds interagenti con una frontiera rigida. È ben noto che nei fluidi che interagiscono con frontiere rigide ad alti numeri di Reynolds si innescano una serie di fenomeni che, in ultima istanza, portano al fenomeno della separazione non stazionaria del boundary layer ovvero alla formazione di strutture vorticosi sulla frontiera ed al loro successivo distacco ed immissione nel fluido esterno al boundary layer. È già stato mostrato recentemente, dal gruppo di Palermo in collaborazione con K. W. Cassel dell'I.I.T. di Chicago, come tali interazione siano strettamente legate alla presenza di singolarità complesse nella soluzione di Navier-Stokes. Si intende investigare su come le condizioni al contorno da imporre sulla frontiera possano influenzare la formazione delle singolarità complesse, ed il conseguente comportamento del fluido. Nella fattispecie si vuole investigare sul ruolo delle condizioni al contorno di Navier. Si vuole verificare la presenza di eventuali nuove interazioni viscoso-non viscoso tra boundary layer e fluido esterno o come le stesse interazioni, già presenti nel caso di condizioni di no-slip possano essere modificate.

**4.2.** Vortex-sheet e regolarizzazioni dell'equazione di Birkhoff-Rott. I flussi di tipo "shear layer" sono caratterizzati da forti variazioni del campo di velocità concentrate in una regione di piccolo spessore, all'interno della quale è presente un'elevata vorticità. Nel limite in cui lo spessore della regione tenda a zero si formano i "vortex-sheet", ovvero flussi in cui la vorticità si concentra su una curva nello spazio. Da un punto di vista matematico i vortex-sheet sono governati dall'equazione di Birkhoff-Rott, per il quale è noto che la soluzione forma in tempi finiti una singolarità nella curvatura della curva. E' possibile continuare l'evoluzione del vortex-sheet oltre il tempo di singolarità applicando alcune opportune regolarizzazioni all'equazione di Birkhoff-Rott (regolarizzazione di tipo vortex-blob o regolarizzazione di tipo Eulero- $\alpha$ ), oppure approssimando il moto del vortex-sheet con quello di un vortex layer di dimensione finita. Si intende investigare se le diverse regolarizzazioni ammettano soluzioni diverse nel limite di zero-regolarizzazione, mostrando più in generale come non sia possibile provare l'unicità di soluzione deboli dell'equazione di Eulero per dati iniziali di tipo vortex-sheet.

**5.** Studio del flusso di Kolmogorov. L'attività di ricerca sarà rivolta allo studio della stabilità e della transizione alla turbolenza per un flusso di Kolmogorov stratificato in densità e sotto l'azione di un campo gravitazionale. Si intende caratterizzare come, all'aumentare del numero di Reynolds, la cascata di successive biforcazioni porti alla comparsa di stati sempre più complessi (da stati oscillatori o traslatori, passando a soluzioni quasi periodiche per arrivare a stati caotici); e capire come tale cascata sia influenzata dagli effetti della stratificazione. Saranno impiegate tecniche di tipo continuazione e proper orthogonal decomposition.

**6.** Analisi e Controllo di sistemi dinamici. Lo studio ed il controllo di sistemi dinamici caotici hanno ricevuto negli ultimi decenni un'attenzione via via crescente: ciò sia per l'interesse teorico per la dinamica non lineare che per le notevoli ricadute in ambito applicativo. Con il termine controllo si intende, in generale, l'applicazione ad un sistema caotico di un segnale esterno - di solito piccolo - al fine di ottenere una ben determinata dinamica (stazionaria, periodica o anche caotica). Una caratteristica essenziale del controllo applicato deve ovviamente essere la sua robustezza, ossia quanto i risultati dello studio su modelli idealizzati rimangono validi rispetto ai sistemi e alle condizioni reali. L'ambito nel quale si intende lavorare riguarda dunque la progettazione di controlli di tipo feedback (lineare e non lineare) per sistemi caotici. In particolare si studieranno i controlli per la cosiddetta famiglia di Lorenz generalizzata, una famiglia di sistemi caotici dipendenti da un parametro contenente in sé alcuni sistemi caotici di rilevante interesse, quali il sistema di Lorenz, il sistema di Chen e il sistema di Lu. Si prevede di studiare la robustezza del controllo rispetto a possibili ritardi temporali nell'inserimento del segnale: tale studio verrà portato avanti sia da un punto di vista analitico - studiando la possibilità di biforcazioni di tipo Hopf e determinando la corrispondente dinamica sulla varietà centrale al fine di determinare il carattere supercritico o subcritico della biforcazione - che da un punto di vista numerico, in modo da validare i risultati teorici.

**B. B. Meccanica statistica e struttura della materia.** L'ambito delle ricerche è lo studio matematico di sistemi complessi fuori dall'equilibrio legati ad applicazioni di vario tipo, con la validazione di modelli macroscopici che mostrino il legame rigoroso tra le diverse scale di descrizione dei sistemi in esame. Oltre alle tematiche di ricerca già affrontate negli anni passati, di cui parte rilevante è lo studio di sistemi multifase di interesse applicativo (es. spray), verranno intrapresi studi matematici di modellizzazione e risoluzione di problemi matematici derivanti dallo studio di plasmi astrofisici, in contesto teorico e applicativo, e dei processi di visione a basse intensità luminose.

## 2. Fondi con cui si intende attuare le attività di ricerca.

Finanziamento Attività Base Ricerca (FFABR).

Progetto Ignitor.

Sono previsti finanziamenti del GNFM – INDAM per le collaborazioni.

### 3. Livello di internazionalizzazione.

- A.** - C. Bardos, Laboratoire Jacques-Louis Lions, Paris, (France);  
- R. Caflisch, Courant Institute, New York (USA);  
- M. Cannone, Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées, Université Paris-Est, Marne-la-Vallée cedex 2, (France);  
- S. Roy Choudhury, Department of Mathematics, University of Central Florida, Orlando (USA);  
- M. Haragus, Laboratoire de Mathématiques, Université de Franche-Comté, Besançon cedex (France);  
- I. Kukavica, Department of Mathematics, University of Southern California, Los Angeles (USA);  
- M. Schonbek, Department of Mathematics, University of California, Santa Cruz (USA);  
- E. S. Titi, Department of Mathematics, College Station, Texas A and M University (USA).
- B.** - L. Desvillettes, Institut des Mathématiques de Jussieu, Paris Rive Gauche (IMJ-PRG), Université Paris Diderot (Parigi 7) (Francia);  
- F. Golse, CMLS Ecole Polytechnique e CNRS Université Paris Saclay (Francia);  
- A.J. Pereira da Costa Soares, CMAT Universidade do Minho (Portogallo);  
- S. Mei, Université Paris Diderot e Observatoire de Paris (Francia);  
- B. Coppi, Massachusetts Institut of Technology, Boston (USA).

### **MAT/08 Analisi numerica**

#### 1. Piano di ricerca per l'anno 2019

**A.** *Metodi numerici per la risoluzione di equazioni differenziali alle derivate parziali time-dependent.*

Ricercatori coinvolti: E. Toscano (RU)

**B.** *Schemi iterativi per la costruzione di punti fissi e loro applicazioni*

Ricercatori coinvolti: E. Toscano (RU), C. Vetro (RU MAT/05).

**C.** *Metodi avanzati per l'approssimazione numerica dei segnali.*

Ricercatori coinvolti: E. Toscano (RU), C. Vetro (RU MAT/05).

**D.** *Metodi dell'analisi numerica affrontati secondo una prospettiva storica.*

Ricercatori coinvolti: E. Toscano (RU).

**E.** *Matematica e Letteratura.*

Ricercatori coinvolti: E. Toscano (RU), M. A. Vaccaro (RU MAT/03).

#### 2. Fondi con i quali si intende attuarli

- Fondi GNCS (Indam).

- Fondi a valere su Progetto SERVIFY - Metodi e modelli per l'ingegneria dei servizi di tipo *ubiquitous*, da far gravare su PON03PE\_00132\_1.

#### 3. Livello d'internazionalizzazione

**D.** È prevista la seguente collaborazione internazionale: Prof. Michele Benzi dell'Emory University di Atlanta, U.S.A.

### **FIS/03 Fisica della materia**

Ricercatori coinvolti: A. Messina (PO), A Napoli (PAE); B. Militello (RCE); R. Grimaudo (DE)

Si distinguono i seguenti ambiti di ricerca:

**A.** *Interazione radiazione materia:* studio di modelli di accoppiamento tra modi bosonici quantizzati e sistemi a pochi livelli.

Ricercatori coinvolti: A. Messina, A. Napoli, E. Lupo (D, UK), R. Grimaudo, A. Sergi (PAE, Messina), G. Hanna (PAE, Canada).

**B.** *Controllo quantistico:* dinamica di sistemi di spin- qubit e spin-qutrit soggetti a campi classici esterni dipendenti dal tempo; bagni bosonici classici e quantistici.

Ricercatori coinvolti: A. Messina, R. Grimaudo, N. Vitanov (Full Professor, Sofia), H. Nakazato (FP, Tokyo); S. De Castro (PAE, Ponta Grossa, Brasile); Y. Belousov (FP, MIPT Mosca), M. Kus (FP, Varsavia, Polonia), E. Solano (FP, Bilbao, Spagna), L. Lamata (PA, Bilbao, Spagna).

**C. Correlazioni quantistiche:** entanglement, quantum discord, stati misti non separabili.

Ricercatori coinvolti: A. Messina, A. Isar (FP; Bucharest), I. Ghiu (PA; Bucharest), T. Mihaescu (D; Bucharest), D. Chruscinski (FP, Torun, Polonia), R. Grimaudo; V. Manko (FP, Mosca).

**D. Problemi inversi in meccanica quantistica:** dalla cinematica all'hamiltoniana, dal laboratorio a modelli compatibili.

Ricercatori coinvolti: A. Messina, G. Baio (D, Glasgow, Scozia), D. Chruscinski (Torun, Polonia), P. Horodezky (FP, Danzica, Polonia), L. Markovich (D, MIPT, Mosca).

### 1. Piano di ricerca per l'anno 2019

**A. Interazione radiazione materia.** Il modello di Rabi descrive l'interazione tra un modo bosonico quantizzato ed un sistema materiale schematizzato come sistema a due stati. Nato come sistema ideale, negli ultimi 40 anni esso è stato realizzato sperimentalmente in molteplici scenari fisici consentendo di fatto l'esplorazione delle sue ricche proprietà dinamiche in quasi tutto lo spazio dei parametri che lo caratterizzano. Solo nel 2017, Braak è riuscito a fornire una procedura nello spazio di Bargman, che conduce alla determinazione delle autosoluzioni del modello, anche se il loro uso è fortemente limitato dalla complessità delle relative espressioni. Nel 2019 ci proponiamo di studiare le proprietà statiche e dinamiche di modelli generalizzati di Rabi di notevole interesse sperimentale. In particolare contiamo di analizzare le proprietà del cosiddetto modello di Rabi a due fotoni, ed il modello di Rabi che descrive l'interazione tra più modi bosonici quantizzati ed indipendenti ed un sistema a due stati. Nel primo di questi problemi contiamo di stimare la probabilità di sopravvivenza dello stato di vuoto nello spazio dei parametri e le caratteristiche del collasso spettrale. Nel secondo dei problemi da studiare si intende stabilire se possano essere introdotti nel modello nuovi modi normali bosonici effettivamente disaccoppiati dal sottosistema materiale. In altri termini si cercherà di verificare se sia possibile ricondurre lo scenario di Rabi generalizzato a quello risolto da Braak. In questo caso avremmo la notevole opportunità di potere indagare per via analitica e non numerica, le caratteristiche della evoluzione temporale di stati quasi classici del sistema Rabi generalizzato, per svelare l'esistenza di possibili fenomeni di ricorrenza in appropriate variabili dinamiche, originati da genuini effetti di interferenza quantistica. Un problema ulteriore di notevole interesse applicativo riguarda gli effetti del rumore. Intendiamo affrontare casi trattabili esattamente mediante l'uso della trasformata di Wigner (riduzione a bagni classici) ma anche situazioni in cui il ricorso a Master Equations è inevitabile.

**B. Controllo quantistico.** Oggi sono disponibili ed in commercio dispositivi miniaturizzati a tal punto da richiedere l'uso della meccanica quantistica per giustificarne il comportamento e prevederne eccezionali applicazioni. Questi dispositivi integrano di norma una miriade di unità elementari spazialmente risolvibili e di qualche decina di nanometri, che possono definirsi spin-qubit o spin-qutrit perché di fatto lo spazio di Hilbert in cui vivono i rispettivi stati quantistici sono bidimensionali o tridimensionali. Questi dispositivi sono utilizzati per svolgere compiti tecnologici estremamente specifici, con alta precisione. A tal fine è necessario applicare campi esterni di controllo, generalmente campi classici dipendenti dal tempo. Emergono così Hamiltoniane dipendenti dal tempo che già nel caso di pochi spin-qubit manifestano notevoli difficoltà di esatta risoluzione analitica. Nel 2019 ci proponiamo di studiare alcuni modelli esemplari in cui due spin-qubit o spin-qutrit sono accoppiati e soggetti a campi magnetici dipendenti dal tempo. La caratteristica di questi modelli è il possesso di simmetrie che potrebbero rendere agevole dimostrare la loro unitaria equivalenza a modelli più semplici, magari più di uno, ciascuno tuttavia definito in uno spazio di Hilbert con un numero minore di dimensioni. Come primo approccio ci proponiamo

di sottoporre i due spin-qubit o spin-qutrit a rampe magnetiche in modo da simulare uno scenario di durata finita alla Landau- Majorana –Stueckelberg- Zener. L’aspettativa è che la riduzione unitaria del problema originario a due o più semplici problemi faccia giocare alle costanti di accoppiamento il ruolo di un campo magnetico effettivo costante ortogonale a quello della rampa. Questi sistemi si candiderebbero così per essere trattati esattamente e consentire anche la valutazione di effetti di rumore e l’emergenza di entanglement durante l’evoluzione temporale di assegnate condizioni iniziali. Un altro importante problema che intendiamo studiare in questo ambito di ricerca è il cosiddetto problema di gain e loss riconducibile a modelli PT simmetrici.

**C. Correlazioni quantistiche.** Questa linea di ricerca è dedicata allo studio della emergenza ed evoluzione di effetti di correlazione inspiegabili in ambito classico in sistemi fisici bipartiti viventi in spazi di Hilbert di dimensioni finite. In particolare intendiamo prendere in esame situazioni modellizzabili con hamiltoniane dipendenti dal tempo. La proprietà più comunemente indagata è quell’effetto di non località detto entanglement frutto diretto del principio di sovrapposizione. L’entanglement in speciali condizioni può essere misurato in termini della concorrenza che il sistema possiede in un dato stato quantistico puro o misto. Comunque è noto da qualche anno che l’entanglement non è il solo tipo di correlazione quantistica che un sistema bipartito possa, manifestare. In altri termini le ordinarie misure di entanglement non possono essere considerate strumenti atti a fornire risposte definitive sulla presenza di correlazioni quantistiche. Questo significa che se da un canto un entanglement non nullo garantisce l’esistenza di correlazioni quantistiche dall’altro l’entanglement nullo non assicura l’assenza di effetti derivanti da correlazioni quantistiche. Una quantità idonea a superare questa incertezza di reperimento della informazione è stata recentemente definita e prende il nome di Quantum Discord. La sua presenza garantisce che il sistema bipartito in studio, nello stato sotto esame, esibisce correlazioni quantistiche. In generale però il calcolo della Quantum Discord presenta grosse difficoltà analitiche anche in semplici sistemi bipartiti. Scopo di questa linea di ricerca è individuare modelli di interesse sperimentale per i quali possa essere studiata l’evoluzione temporale della quantum discord in modo analitico e confrontata con la concorrenza. I modelli che si pensa di esaminare sono modelli di due spin-qubit interagenti e soggetti a campi esterni dipendenti dal tempo. Si tratta di costruirli in modo che lo stato evoluto al tempo  $t$  consenta il calcolo di entrambe le quantità, concorrenza e quantum discord, posto che esse erano determinabili nella condizione iniziale pura o mista che sia. Se il modello sarà individuato, un fenomeno di grande interesse fondamentale ed applicativa è l’improvvisa nascita e morte di correlazioni quantistiche nella evoluzione del sistema bipartito in studio. La conoscenza analitica di tutte le proprietà evolutive di tali sistemi costituisce una utile palestra per meglio comprendere aspetti di base del comportamento quantistico oltre che fornire spunti per tenerli sotto controllo in scenari applicativi.

**D. Problemi inversi in meccanica quantistica.** Questa linea di ricerca si inserisce nella nota tematica dei problemi cosiddetti marginali: data la matrice densità di un arbitrario sistema bipartito è sempre possibile trovare i cosiddetti marginali ottenuti tracciando via un sottosistema a volta. Il problema inverso di natura marginale richiede la costruzione di tutte le matrici densità del sistema bipartito associabili alla assegnazione dei marginali dei due sottosistemi al variare del tempo. Questo è un esempio di problema inverso che se risolto conduce ad un altro ben più complesso problema inverso: costruire tutti i modelli hamiltoniani che generano quella data evoluzione della matrice densità. In questo senso cerchiamo di promuovere a problema dinamico la conoscenza o l’assegnazione su una base cinematica della evoluzione di una data matrice densità. La nostra linea di ricerca punta a risolvere almeno alcuni aspetti di questi complessi problemi marginali dipendenti dal tempo limitandosi per il momento a spazi di Hilbert di dimensioni finite.

## 2. Fondi per la ricerca

Fondi INFN, sezione di Catania; Altri Fondi Esterni.

### 3. Livello di Internazionalizzazione

- H. Nakazato: Department of Physics, Waseda University, Tokyo 169-8555, Japan.
- N. V. Vitanov: Department of Physics, St Kliment Ohridski University of Sofia, 5 James Bourchier Boulevard, 1164 Sofia, Bulgaria.
- M. Kus: Center for Theoretical Physics, Polish Academy of Sciences, Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, Poland.
- S. M. de Castro: Departamento de Física, Universidade Estadual de Ponta Grossa, CEP 84030-900, Ponta Grossa, PR, Brazil.
- E. Solano: Department of Physical Chemistry, University of the Basque Country UPV/EHU, Apartado 644, E-48080 Bilbao, Spain; IKERBASQUE, Basque Foundation for Science, Maria Diaz de Haro 3, 48013 Bilbao, Spain; Department of Physics, Shanghai University, 200444 Shanghai, China.
- L. Lamata: Department of Physical Chemistry, University of the Basque Country UPV/EHU, Apartado 644, E-48080 Bilbao, Spain.
- V. Man'ko: P.N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences Leninskii Prospect 53, Moscow 119991, Russia;
- M. Man'ko: P. N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences Leninskii Prospect 53, Moscow 119991, Russia.
- L. Markovich: Institute for information transmission problems, Moscow Bolshoy Karetny per. 19, build.1, Moscow 127051, Russia;
- Y. Belousov: Moscow Institute of Physics and Technology, 141700, Dolgoprudny, Institutskiy lane 9, Russia.
- A. Isar: Faculty of Physics, University of Bucharest, Bucharest-Magurele, Romania; National Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest-Magurele, Romania.
- Ghiu: University of Bucharest, Faculty of Physics, Centre for Advanced Quantum Physics, PO Box MG-11, R-077125, Bucharest-Magurele, Romania.
- D. Chrùscìnski: Nicolaus Copernicus University Grudzi adzka 5/7, 87-100 Torun, Poland.
- G. Hanna: Department of Chemistry, University of Alberta, 11227 Saskatchewan Drive Edmonton, Edmonton, AB T6G 2G2, Canada.
- G. Baio: SUPA and Department of Physics University of Strathclyde Glasgow G4 0NG, Scotland, U.K.

## **INF/01 Informatica**

Si distinguono quattro ambiti di ricerca:

**A. Problemi combinatorici e algoritmici degli automi e dei linguaggi formali.**

Ricercatori coinvolti: Sabrina Mantaci (PA), Marinella Sciortino (PA), Giuseppa Castiglione (RC), Chiara Epifanio (RC), Gabriele Fici (RTD), Antonio Restivo (CE)

**B. Algoritmi e metodologie per l'estrazione di conoscenza da strutture dati discrete**

Ricercatori coinvolti: Andrea De Salve (RTDA), Raffaele Giancarlo (PO), Giosuè Lo Bosco (PA), Simona E. Rombo (RC)

**C. Metodologie e algoritmi per l'analisi di dati in Biomedicina e E-Learning.**

Ricercatori coinvolti: Domenico Tegolo (PA), Biagio Lenzitti (RC), Giosuè Lo Bosco (RC), Cesare Valenti (RC), Guido Averna (D)

**D. Interazione Multisensoriale.**

Ricercatori coinvolti: Davide Rocchesso (PO)

1. Piano di ricerca per l'anno 2019.

*A. Problemi combinatori e algoritmici degli automi e dei linguaggi formali.* L'ambito è una delle aree dell'informatica più consolidate, che trae origine da problematiche relative ai primi computer, ai sistemi di comunicazione e ai linguaggi di programmazione. Successivamente, gli sviluppi della tecnologia informatica hanno incrementato la necessità di esplorare nuovi modelli specifici e hanno stimolato nuovi spunti teorici. Quest'area di ricerca si trova al crocevia fra l'informatica teorica, la matematica e le applicazioni. Da un punto di vista matematico, essa utilizza prevalentemente la combinatoria delle parole, ma anche nuovi strumenti concettuali dell'algebra non commutativa, della logica, del calcolo delle probabilità. Il progetto di algoritmi su stringhe ne rappresenta un aspetto complementare, motivato dalle potenziali applicazioni scientifiche che includono, fra le altre, la codifica, la compilazione, la verifica del software, la compressione dati, la bioinformatica e la ricerca del web. Le linee di ricerca riguardano prevalentemente gli aspetti combinatori e algoritmici degli automi e dei linguaggi, e prendono anche in considerazione alcuni ambiti applicativi. Le specifiche tematiche di ricerca che si intendono sviluppare nel 2019 sono di seguito elencate:

*1. Complessità di automi (DFA) e minimizzazione.*

Una linea di ricerca correlata riguarda la progettazione di algoritmi efficienti per la costruzione di automi "quasi" minimali per particolari famiglie di linguaggi, come, ad esempio, i linguaggi finiti. Si intende inoltre studiare il problema della decomponibilità di un automa in automi che risultino più semplici dell'originale, ma tali che il risultato delle indipendenti computazioni su testi in input può determinare il risultato della computazione sull'input dell'automa originale. Questo approccio consentirebbe di parallelizzare molte questioni legate agli automi a stati finiti, come per esempio i problemi di minimizzazione. Molte problematiche connesse a questa tematica sono ancora aperte. Ci proponiamo di affrontare queste questioni da un punto di vista algoritmico e con tecniche proprie della combinatoria delle parole.

*2. Caratterizzazione della più piccola famiglia di linguaggi che contiene i "singleton" ed è chiusa rispetto alle operazioni booleane, al prodotto e allo shuffle.* L'interesse di questo studio è anche legato alle applicazioni dell'operazione *shuffle* all'algebra dei processi ed alla verifica dei programmi. Lo studio dell'operazione *shuffle* conduce a nuovi problemi di combinatoria delle parole connessi, in particolare, ai "quadrati *shuffle*".

*3. Studio e sperimentazione della taglia media (numero di nodi e numero di archi) di CDAWG di stringhe generate da sorgenti i.i.d. di entropia variabile, anche molto piccola.* Esistono in letteratura analisi fatte per stringhe generate da sorgenti i.i.d. di entropia massima al variare dell'alfabeto. Risultati sperimentali preliminari mostrano che la taglia media dei CDAWG si riduce al ridursi dell'entropia anche se non in modo proporzionale, aprendo la possibilità di utilizzo di questa struttura dati su sequenze altamente ripetitive.

*4. Studio della Trasformata di Burrows-Wheeler (BWT) e la sua estensione a multi-set di parole (EBWT).* Siamo interessati a fornire caratterizzazioni combinatorie dei multi-set di parole che possono essere ottenuti tramite queste trasformazioni e, in particolare, a studiare la struttura combinatoria delle parole che sono immagine di multi-set speciali di parole attraverso la EBWT. Si intende inoltre utilizzare la EBWT per trovare soluzioni approssimate di problemi difficili da trattare come, ad esempio, il *Minimum Common String Partition Problem*.

*5. Combinatoria delle parole e loro complessità.* Si vuole studiare la fattibilità della possibile applicazione, almeno a livello potenziale, delle recentemente introdotte tecniche di manipolazione delle stringhe che coinvolgono proprietà combinatorie, astratte e formali, in algoritmi per la compressione dei dati, con particolare riferimento alla compressione lossless di dati testuali su alfabeti binari o comunque di taglia fissata, con particolare riferimento a quei dati che provengono da contesti reali e applicativi, ad esempio sequenze genetiche, mediante l'applicazione di teoremi che mostrano il legame profondo tra alcune misure di complessità che è possibile definire sulle

stringhe, da un lato, e le caratteristiche intrinseche di compressibilità dei dati testuali, alla Kolmogorov, dall'altro.

**6. Teoria dei Codici (TC).** Una teoria iniziata da M.P. Schutzenberger negli anni 60, poi ampiamente sviluppata nella combinatoria delle parole e nell'*Information Theory*. Un ruolo applicativo fondamentale hanno i codici prefissi e bi-prefissi, i primi in compressione dati, ed i secondi nella codifica dei file video. Malgrado sia già ampiamente studiata, la TC ha ancora diversi problemi aperti, per esempio lo studio della decomponibilità dei codici prefissi massimali. Sono state date soluzioni per i codici prefissi finiti. È stata inoltre data una soluzione al problema della decidibilità per i codici prefissi razionali, ma senza una prova costruttiva. Non è, ad esempio, ancora noto alcun algoritmo per decidere se un codice razionale si decompone in uno finito.

**7. Polyomini.** Si tratta di oggetti combinatori molto noti poiché legati a problemi complessi come, ad esempio, il tiling del piano. Questi oggetti inoltre trovano applicazioni in fisica come strumento per lo studio dei quasi cristalli. Considerata la difficoltà, nota in letteratura, dei problemi generali sui polyomini (è ancora aperto il problema dell'enumerazione dei polyomini) si programma di approfondire lo studio di particolari classi di polyomini detti  $k$ -convessi che con le loro proprietà geometriche e combinatorie ci consentono l'approccio a problemi di generazione esaustiva e di enumerazione rispetto al perimetro e all'area.

**B. Algoritmi e metodologie per l'estrazione di conoscenza da strutture dati discrete.** L'obiettivo generale riguarda l'analisi e la progettazione di algoritmi e strutture dati per la risoluzione di problematiche su estrazione di conoscenza in diversi contesti applicativi. In particolare, ci si concentrerà su applicazioni nell'ambito di reti sociali, dati biologici e medici, immagini e video digitali. Si adotteranno in prevalenza tecniche di data mining, machine learning, big data management. Coerentemente con le competenze dei membri del team, il piano di ricerca per l'anno di riferimento è di seguito brevemente descritto per punti.

**1. Investigazione delle proprietà combinatorie ed informazionali di stringhe e sequenze in ambito epigenomico.** È ben noto che la sequenza di DNA è generatrice del cosiddetto "codice della vita". È altrettanto noto che l'organizzazione intrinseca di tale sequenza gioca un ruolo fondamentale in vari processi biologici, come l'organizzazione della cromatina e le modifiche istoniche. Ad oggi, tuttavia, mancano molti risultati fondamentali che stabiliscono con chiarezza quale sia il ruolo dell'organizzazione intrinseca della sequenza in tali processi. L'attività pianificata per l'anno si concentrerà su studi di  $k$ -meri (particolari sequenze) all'interno di due processi fondamentali per la biologia: l'organizzazione della cromatina e le modifiche istoniche. I risultati attesi comprendono, ma non sono limitati a, costruzione ed analisi di dizionari "epigenomici" per il posizionamento di "nucleosomi", metodologie di compressione nello spazio di sequenze di classificatori di posizionamento di "nucleosomi", analisi di grafi di dipendenza dei  $k$ -meri circa l'acquisizione di stabilità di funzione per posizionamento "nucleosomico" e modifiche istoniche.

**2. Impatto di algoritmi efficienti nelle scienze della vita.** È ben noto che l'algoritmica abbia dato contributi fondamentali alle scienze della vita, ad esempio nell'ambito del sequenziamento del genoma umano. È altrettanto chiaro che, grazie ai cambiamenti epocali ottenuti attraverso le nuove tecnologie di produzione dati in biologia, sia necessaria un'analisi critica del ruolo degli algoritmi in quest'area. L'obiettivo di questa linea di ricerca è quello di fornire misure dell'impatto dell'algoritmica sulle scienze della vita e suggerimenti utili per il futuro, anche alla luce di quanto viene sviluppato in ambito BIG DATA e indipendentemente dalla biologia.

**3. Clustering, Classificazione Supervisionata e Ingegneria degli Algoritmi.** Negli ultimi anni si è maturata una significativa esperienza in molti aspetti legati al *clustering*, alla classificazione e al *pattern discovery* in dati relativi ad esempio a *microarray*, una tecnologia consolidata per esperimenti di biologia, o più in generale per strutture dati quali array bidimensionali impiegati ad esempio nel contesto delle immagini digitali. Le tecniche sviluppate sono ormai mature per essere

distribuite sotto forma di software alla comunità internazionale. L'obiettivo di questa linea di ricerca è la realizzazione di tale intento.

**4. Modelli di apprendimento approfondito per l'analisi di sequenze.** I modelli ad apprendimento approfondito (*Deep Learning Models*) appartengono a una caratterizzazione di metodologie di apprendimento automatico capaci di evitare la fase di *feature engineering*. Essi si implementano principalmente tramite reti neurali artificiali organizzate su svariati livelli progressivi. Si intendono applicare tali modelli al clustering e alla classificazione di sequenze di DNA. Infine, alla estrazione automatica delle caratteristiche delle sequenze per studiarne la complessità in relazione alle diverse specie biologiche che verranno considerate nello studio.

**5. Tecniche e strumenti per la medicina personalizzata.** Negli ultimi anni abbiamo assistito ad una crescita esponenziale di dati biologici e medici, provenienti dalle sempre più avanzate tecnologie di sequenziamento, dati clinici e di imaging, cartelle cliniche elettroniche, ecc. I dati risultanti sono complessi nei contenuti, eterogenei nei formati e ordine di Terabyte in quantità. Questi "big data" nel settore biologico e medico offrono opportunità senza precedenti di lavorare su problemi entusiasmanti, ma sollevano anche molte nuove sfide per l'archiviazione, l'elaborazione e l'estrazione dei dati. Uno scenario interessante è quello della medicina personalizzata (o di precisione), secondo cui le decisioni mediche, i trattamenti, le pratiche e/o i prodotti consigliati dovrebbero essere adattati al singolo paziente. In particolare, la selezione di terapie appropriate e ottimali può essere basata sul contesto del contenuto genetico di un paziente o di altre analisi molecolari o cellulari. A tal fine, dati eterogenei raccolti da diverse fonti, come patrimonio genetico, stile di vita e contesto ambientale, possono essere combinati per far progredire la comprensione, la diagnosi e il trattamento della malattia e garantire l'erogazione di terapie appropriate. Si studieranno e progetteranno opportune metodologie di integrazione e analisi dei dati in questo dominio applicativo, con particolare riferimento allo studio di specifici componenti cellulari (es., long non-coding RNA) e particolari tipologie di cellule (es., cellule staminali). Inoltre, si proporranno opportuni modelli (es., networks) e algoritmi su tali modelli per l'estrazione di proprietà caratterizzanti determinate patologie e/o la distinzione tra pazienti sani e malati.

**6. Viral marketing e social advertising.** La tematica di ricerca riguarda l'integrazione e l'analisi dei dati provenienti da social media, siti di shopping on-line, carte fedeltà, allo scopo di comprendere ed eventualmente migliorare i processi di marketing aziendale. A tal fine, l'utilizzo di tecnologie di big data risulta fondamentale, data l'elevata mole di dati da analizzare e la necessità di elaborazioni in real time per alcune specifiche applicazioni. Si farà riferimento prevalentemente a: profilazione utenti e matching di profili; analisi di misure di network (node/edge) centrality; studio della diffusione dell'informazione; algoritmi per la ricerca di "influencer"; sistemi interattivi per l'advertising.

**7. Text Simplification.** La tematica di ricerca riguarda il Natural Language Processing (NLP), e si pone come obiettivo lo studio dei problemi legati allo sviluppo di sistemi di semplificazione automatica (ATS) dei testi che siano in grado di eseguire autonomamente operazioni di inserimento e cancellazione di parti del discorso in modo da trasformare un testo di difficile comprensione in una forma che si adegui alle caratteristiche del lettore. Le metodologie per la creazione degli ATS sono basate sugli algoritmi di Machine learning e Deep Learning le quali si sono mostrate efficaci per problemi con caratteristiche simili. A tal riguardo, queste tecniche sono state applicate con successo per la creazione di sistemi capaci di valutare automaticamente la complessità di un testo i quali possono essere utilizzati come sistemi di supporto al lettore avvertendolo se il la complessità del testo è adeguato alle sue caratteristiche.

**8. Misurazione, analisi e modellazione del comportamento sociale attraverso i dati delle Online Social Networks.** I servizi di Online Social Networks sono attualmente utilizzati da miliardi di utenti per lo scambio di informazioni e sono tra le principali "disruptive innovation" degli ultimi 15 anni. L'ampia diffusione di queste piattaforme di comunicazione e i dati generati dalle loro interazioni tra utenti costituiscono un'importante sorgente di informazioni per capire, studiare e

analizzare il comportamento degli utenti. La tematica di ricerca ha come obiettivo l'utilizzo di dati reali delle Online Social Networks allo scopo di misurare, analizzare e modellare le caratteristiche del comportamento degli utenti in diversi contesti, che includono: trust, reputation, privacy, pattern di comunicazione e diffusione delle informazioni. A tale scopo, verranno adottate: i) metodologie di raccolta dei dati basate su profiling, crawling, and monitoring, ii) tecniche di modellazioni dei dati per reti statiche e dinamiche, iii) algoritmi di data mining e machine learning per l'analisi di reti complesse.

*C. Metodologie e algoritmi per l'analisi di dati in Biomedicina e E-learning.* L'attività di ricerca sarà concentrata sullo sviluppo di metodologie innovative per l'analisi di strutture dati  $n$ -dimensionale presenti nel settore biomedico. Le tematiche saranno affrontate in seno alle consolidate teorie del *machine learning* e degli *algoritmi evolutivi* coadiuvate da algoritmi della *computer vision* e dell'*image processing*. Il piano di ricerca per il prossimo anno sarà articolato come segue:

**1.** L'attività di ricerca nel campo della visione, e più in generale nell'analisi dei dati multidimensionale, trova i propri fondamenti sia nelle tre aree fondamentali della visione artificiale (basso, medio e alto livello) sia nel campo degli algoritmi genetici e dell'apprendimento computazionale e statistico. Problemi classici come segmentazione, *Feature Detection and Selection*, Classificazione e ricostruzione 3D saranno affrontati sia adottando algoritmi fondamentali della letteratura sia attraverso la definizione e la validazione di nuove e più accurate metodologie orientate a specifici campi di ricerca quali ad esempio algoritmi per la segmentazione basati su metodi di *clustering* e *sparse dictionary*.

**2.** Data le specificità dei campi di interesse si renderà necessaria l'individuazione e la definizione di nuove metriche e ciò al fine di garantire una più accurata risposta delle metodiche proposte. In particolare i nuovi metodi proposti in letteratura saranno sviluppati, per una loro validazione, su immagini sintetiche e biomediche reali, in cui saranno valutati sia gli aspetti microscopici sia quelli macro, coinvolgendo l'analisi cellulare, l'analisi automatica del fondo retinico, la "*capillaroscopia*" delle mucose e dell'epidermide, la tomografia discreta e le immagini ecografiche fetali. Per la fase di validazione delle metodiche ci si avvarrà della collaborazione di esperti in grado di fornire *ground truth* e annotazioni mediche dei dati reali. Un opportuno sottoinsieme dei dati sarà reso disponibile in modalità "pubblico dominio" per rendere oggettivi i confronti con altre tecniche innovative, nonché facilitare la collaborazione con partner internazionali.

**3.** Saranno di interesse anche le tematiche affrontate in ambito neuronale. I processi cellulari, alla base delle differenze tra individui della stessa specie per quanto riguarda la capacità della memoria di lavoro, sono essenzialmente sconosciuti. Esperimenti psicologici indicano che i soggetti con capacità di memoria di lavoro inferiore rispetto ai soggetti con maggiore capacità richiedono tempi più lunghi per il recupero degli elementi memorizzati in una lista e inoltre risultano essere più sensibili alle interferenze durante il tempo di recupero dell'informazione. Tuttavia, un collegamento più preciso tra esperimenti psicologici e le proprietà cellulari è ancora carente, e sperimentalmente molto difficile. L'attività di ricerca in tale ambito verterà sull'indagine dei possibili meccanismi di base a livello del singolo neurone usando un modello computazionale di neuroni dell'ippocampo CA1 piramidale, i quali risultano essere profondamente coinvolti nel riconoscimento di specifici elementi. Ci si auspica che i risultati attesi suggeriscano, per la prima volta in letteratura, una spiegazione fisiologicamente plausibile delle differenti prestazioni tra individui.

**4.** L'obiettivo delle linee di ricerca sarà quello di fornire sia metodiche per l'estrazione dei risultati da dati complessi, sia suggerire linee guida per sviluppi futuri, sia la produzione di grosse moli di dati al fine di individuare complesse correlazioni tra dati eterogenei per ottenere una più omogenea integrazione nell'ambito dei BIG DATA. Un altro aspetto che verrà indagato è, nell'ambito dell'*elearning*, la progettazione e la realizzazione di strumenti dedicati al processo di consapevolizzazione (*empowerment*) del paziente. La progettazione e realizzazione di tali strumenti,

posti al centro dei servizi socio-sanitari, sarà effettuata in modo da essere inclusivi e consentire inoltre ai cittadini di assumere il controllo delle loro necessità mediche.

**5. Modelli di apprendimento approfondito per l'analisi di bioimmagini.** Obiettivo di questa linea di ricerca è quello di investigare su diversi tipi di architetture ad apprendimento approfondito per la soluzione di problemi specifici quali l'identificazione di forme (pattern) in bioimmagini. Si studieranno i modelli ad apprendimento approfondito per la segmentazione semantica delle immagini, con particolare applicazione all'identificazione della localizzazione di proteine PcG sui nuclei delle cellule provenienti da immagini da microscopio.

**D. Interazione Multisensoriale** Vengono studiate le interazioni tra persone e dispositivi, di tipo visuale, uditivo, tattile e propriocettivo. I principali ambiti di indagine sono:

1. Metodi per il design dell'interazione:

Interazione multisensoriale continua e progettazione di meccanismi di accoppiamento percezione-azione. A questo scopo si contribuisce allo sviluppo di un repertorio di esercizi di basic design multisensoriale e si conducono analisi di protocollo (*linkographic analysis*). Particolare attenzione viene riservata alla fase di produzione di bozzetti (*sketching*) nel design dell'interazione, per la quale si sviluppano metodi e strumenti.

2. Modelli per il suono:

Il *sonic interaction design* si concentra sul suono come veicolo di informazione, significato e caratteri estetico-emozionali in contesti interattivi. La sintesi del suono deve presentare caratteristiche di efficienza, versatilità, e controllabilità in relazione all'interazione tra uomo e artefatto. Un percorso di ricerca riguarda la sintesi per modelli fisici, sia per la simulazione di sistemi acustici esistenti, sia per lo sviluppo di algoritmi, strutture e metodi a supporto della creatività. Un altro percorso di ricerca riguarda l'individuazione di primitive di rappresentazione del suono, sia sul piano tempo-frequenza, sia all'interno di una tassonomia di fenomeni fisici, sia all'interno di una tassonomia di fenomeni articolatori (voce e gesto).

3. Interazione non-visuale:

Nel campo della realtà virtuale ed aumentata, si rivolge particolare attenzione ai display aptici e uditivi. La resa multisensoriale di informazioni complesse viene studiata in contesti interattivi (*data exploration*).

4. Percezione applicata all'interazione uomo-macchina:

Le tecniche della psicologia sperimentale sono applicate allo studio di dispositivi e modalità di interazione. I modelli predittivi dell'interazione uomo-macchina sono sottoposti a verifica sperimentale in diversi contesti sensoriali.

5. Display pubblici:

interazione gestuale con display audio-visuali in ambiente popolato. Studio dei comportamenti di interazione con i display.

2. Fondi con i quali si intende attuare la ricerca:

**A.** Finanziamenti provenienti dalla eventuale partecipazione a bandi PON, POR, PRIN, GNCS-INDAM. Fondi provenienti da "Finanziamento delle attività base di ricerca" (G. Fici).

**B.** I ricercatori coinvolti nel team hanno a disposizione fondi su conto terzi, FFABR, FFR e residui di fondi su progetti di ricerca FIRB, PRIN, PON e GNCS conclusi. Si intende perseguire tutte le opportunità che il panorama nazionale offre in termini di finanziamenti di ricerca (FIRB, PRIN, PON, POR). Ovviamente, il successo di tale proposito dipende in primo luogo dalle opportunità offerte attraverso bandi competitivi ed in particolare rispetto alle competenze del gruppo. A livello di procacciamento di Fondi Europei, il gruppo è parte dei laboratori Infolife e Artificial Intelligence and Intelligent Systems del CINI, un consorzio Interuniversitario. Vi è attività in corso per poter partecipare a progetti in ambito H2020.

**C.** Si sottoporranno i progetti di ricerca illustrati sia in ambito regionale (progetti POR), sia in ambito nazionale (PON/GNCS), sia in ambito europeo (H2020). La partecipazione a tali bandi

competitivi non garantirà il buon esito della proposta ma certamente darà visibilità al gruppo nei vari scenari in cui le proposte saranno presentate. Inoltre è d'interesse consolidare le già presenti sinergie sia con i gruppi dei diversi campi medici (oftalmologi, ecografisti, patologi,) che insistono sulle ricerche, sia con lo scenario nazionale e internazionale della Computer Science.

Progetto europeo ERASMUS + numero 573664-EPP-1-2016-1-BA-EPPKA2-CBHE-JP dal titolo REady for BUSiness, Integrating and validating practical entrepreneurship skills in engineering and ICT studies.

PON Smart Cities and Communities SCN\_00447 dal titolo ADAPT: Accessible Data for Accessible Prototypes in Social Sector.

PON Ricerca e Competitività 2007-2013 art.13, DM46965 dal titolo Studio Di Strategie Terapeutiche Mediche Innovative Guidate da Imaging Molecolare e Proteogenomica: Applicazione in Oncologia e Neurologia.

Fondi provenienti da "Finanziamento delle attività base di ricerca" (G. Lo Bosco e C. Valenti).

**D.** L'unità di ricerca ha partecipato ad alcune proposte relative al bando PO-FESR2017, ad una proposta di progetto H2020, e ad un progetto PRIN, per i quali si attende la valutazione. Nell'ambito del Programma Operativo Nazionale Ricerca e Innovazione (PON-RI 2014-2020) è stata finanziata con 197,588 euro una posizione di ricercatore a tempo determinato di tipo a, riservata ad un ricercatore proveniente da istituzione non appartenente all'Italia meridionale, che lavorerà nel campo dei display multisensoriali a partire dall'estate 2019.

### 3. Livello d'internazionalizzazione:

**A.** Elenco dei partner internazionali con cui è attivata una collaborazione per la realizzazione del progetto:

- Université du Québec, Montreal, Canada
- Université Paris-Est, Francia
- Université Paris Nord, Francia
- Université Paris Diderot, Francia
- King's College London, Regno Unito
- Eötvös Loránd University, Ungheria
- Universidade Nova de Lisboa, Portogallo
- University of Helsinki, Finlandia
- Université Claude Bernard Lyon 1, Francia

**B.** Il gruppo è già attivo in questo campo con collaborazioni documentate sia nazionali, con il consiglio nazionale delle ricerche (CNR), sia internazionali con IBM T.J Watson Research Center, Harvard University, National Institute of Health (NIH), USA. Tali collaborazioni, in termini di produzione di lavori scientifici, verranno mantenute e possibilmente ampliate. Essendo le attività internazionali del gruppo rivolte soprattutto verso gli Stati Uniti, ci si pone come obiettivo di medio termine lo sviluppo di collaborazioni all'interno dell'Unione Europea.

**C.** Il gruppo ha svolto la propria attività ricerca già da anni in collaborazione con diversi enti di ricerca sia nazionale che internazionale, alcune tra queste collaborazioni hanno prodotto contributi letterari e altre hanno permesso di gettare le basi per possibili progetti futuri. In ambito internazionale è da segnalare la collaborazione con l'University of Dundee, che ha prodotto pubblicazioni di articoli su riviste di prestigio. Inoltre, sono in atto collaborazioni con il Dana-Farber Institute di Boston, con la Dublin City University, con la Riga Technical University in Lettonia, con la Ruse University in Bulgaria e con Vilnius Gediminas Technical University in Lituania, con le quali sono stati attivati progetti di interscambio ERASMUS+, si identificheranno le tematiche per una possibile stesura di progetto da presentare su H2020.

**D.** L'unità ha rapporti stabili di ricerca con le seguenti istituzioni: KTH Stockholm; IRCAM Paris; ZHdK Zurich; Aalborg University Copenhagen.

