

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DI BASE E APPLICATE PER L'INGEGNERIA PIANO TRIENNALE DELLE ATTIVITA' DI RICERCA 2013-2015

Il Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria (SBAI) svolge attività di ricerca principalmente su tematiche delle discipline chimiche, fisiche e matematiche che presentano un significativo risvolto applicativo. Esse costituiscono un ponte fra le scienze di base e le realizzazioni tecniche, impiegando principi fisici e chimici e metodi matematici per sviluppare nuove tecnologie. Rilevanti sono le attività teoriche e sperimentali che mirano a un avanzamento della conoscenza, fattore essenziale di stimolo a un ambiente scientifico che aspiri all'eccellenza basata sulla qualità ed elemento indispensabile di ogni processo d'innovazione.

Il Dipartimento SBAI nasce nel luglio 2010 dalla fusione di tre precedenti strutture: il Dipartimento di Modelli e Metodi Matematici (MeMoMat), il Dipartimento di Energetica e la sede di Chimica del Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente (ICMA).

Il Dipartimento, attualmente articolato in tre sezioni, Matematica, Fisica e Chimica, riunisce 67 docenti appartenenti ai settori scientifico disciplinari

CHIM/07	<i>Fondamenti chimici delle tecnologie</i> (7 docenti)
FIS/01	<i>Fisica sperimentale</i> (19 docenti)
FIS/07	<i>Fisica applicata</i> (2 docenti)
ING-IND/20	<i>Misure e strumentazione nucleari</i> (1 docente)
MAT/03	<i>Geometria</i> (4 docenti)
MAT/05	<i>Analisi matematica</i> (20 docenti)
MAT/06	<i>Probabilità e statistica matematica</i> (3 docenti)
MAT/07	<i>Fisica matematica</i> (8 docenti)
MAT/08	<i>Analisi numerica</i> (3 docenti)

Afferisce alla Facoltà di *Ingegneria Civile e Industriale*, nella quale i suoi membri svolgono in prevalenza il proprio compito didattico (impartendo nell'AA 2012-13 corsi per un totale di 584 CFU). Ulteriore attività didattica è svolta presso le Facoltà di *Ingegneria dell'Informazione, Informatica e Statistica* (204 CFU), *Medicina e Odontoiatria* (6 CFU), *Scienze Matematiche Fisiche e Naturali* (12 CFU), *Lettere, Scienze Umanistiche e Studi Orientali* (12 CFU) e *Architettura* (16 CFU). I docenti di SBAI verbalizzano circa 18000 esami/anno¹

L'istituzione del Dipartimento SBAI ha rafforzato la specificità della formazione nelle scienze di base e applicate nelle Facoltà di Ingegneria e ha agevolato il coordinamento necessario al raggiungimento di una buona organizzazione didattica per gli studenti. Un'attività innovativa cui il Dipartimento SBAI ha dato un contributo essenziale sin dalla fase iniziale di progettazione è rappresentata dal corso di laurea magistrale interfacoltà in Ingegneria delle Nanotecnologie, in cui gli insegnamenti di chimica e fisica sono caratterizzanti.

La costituzione del Dipartimento SBAI ha potenziato all'interno della Sapienza le opportunità di ricerca nei settori ove l'interdisciplinarietà crea terreno fertile per le nuove idee necessarie all'innovazione. La presenza contemporanea delle competenze di matematica, fisica e chimica dettagliate più sotto e di laboratori con dotazioni avanzate fanno del Dipartimento SBAI un centro di competenze importante (e, in alcuni casi, unico) per l'Università di Roma "Sapienza". Inoltre SBAI contribuisce in modo essenziale sin dalla sua costituzione al Centro di Nanotecnologie applicate all'Ingegneria della Sapienza (CNIS) e al suo laboratorio di Nanoscienze e Nanotecnologie

¹

Dato medio relativo agli anni solari 2010 e 2011.

(SSN_Lab) presso cui è installata strumentazione allo stato dell'arte e con caratteristiche di unicità nell'ambito sia della Sapienza sia territoriale. SBAI partecipa anche al Centro di Ricerca Hydro-Eco per lo studio dell'idrogeno e del suo impiego come vettore o fonte energetica, al Centro di Ricerca di Scienza e Tecnica per la Conservazione del Patrimonio Storico-Architettonico. Sono inoltre attive convenzioni con gli enti di ricerca CNR, INDAM, INFN.

Le competenze e la produzione scientifica dei membri del Dipartimento sono rilevabili da curriculum e pubblicazioni di ciascun docente, disponibili in rete all'indirizzo (<http://sbai.uniroma1.it>)

Le ricerche programmate per il prossimo triennio riguardano principalmente le linee di ricerca elencate qui sotto, distinte per Sezione. Dettagli sul piano triennale di ciascuna sezione sono forniti nei successivi capitoli.

Sezione di Chimica

L'attività di ricerca è volta principalmente allo sviluppo di materiali e di processi. Le principali linee di ricerca previste per il prossimo triennio riguardano :

- *Biosensori*
- *Green Chemistry*
- *Elettrochimica organica*
- *Nanomateriali*
- *Organic Electronics*
- *ROS (reactive oxygen species)*
- *Sistemi elettrochimici non convenzionali per la produzione e l'accumulo di energia*
- *Termodinamica cinetica*

Sezione di Fisica

L'attività di ricerca è svolta in vari settori della fisica di base e applicata, nell'ambito di numerose collaborazioni nazionali e internazionali con istituti di ricerca e altre università. Specifici temi di ricerca che verranno sviluppati nel prossimo triennio riguardano:

- *Acceleratori e sorgenti di particelle*
- *Acustica fisica e bioacustica*
- *Analisi non distruttive e Archeometria*
- *Fisica delle particelle elementari e applicazioni medicali*
- *Fotonica molecolare e biofotonica*
- *Misure nucleari e radioprotezione*
- *Nanofotonica e plasmonica non lineare*
- *Plasmi prodotti da laser e fusione nucleare a confinamento inerziale*
- *Proprietà dei materiali per le nanotecnologie*
- *Sistemi fotonici integrati, lineari e non lineari e loro applicazioni come sensori*
- *Tecniche fototermiche e fotoacustiche per la caratterizzazione optotermica dei materiali*

Sezione di Matematica

L'attività di ricerca si articola in vari temi, tutti inquadrati in problematiche di considerevole interesse in campo internazionale, sia in ambito applicativo sia fondamentale:

- *Controllabilità esatta di sistemi distribuiti*
- *C*-algebre e geometria non commutativa*
- *Didattica della geometria*
- *Equazioni di Hamilton-Jacobi, Networks e interazioni*
- *Equazioni frazionarie e diffusioni anomale; campi aleatori sulla sfera e applicazioni*

- *cosmologiche*
- *Funzioni speciali in più variabili, analisi armonica discreta e catene di Markov finite*
- *Geometria Spettrale. Topologia Algebrica di EDP con applicazioni in Meccanica dei Continui e in Teoria Quantica dei Campi*
- *Meccanica statistica e teoria cinetica*
- *Metodi numerici per la soluzione di problemi inversi*
- *Modelli differenziali non lineari*
- *Modellizzazione continua di problemi fisici e biologici*
- *Probabilità coerenti; teoria delle decisioni; modelli grafici*
- *Strutture irregolari*
- *Teoria dell'approssimazione e analisi multirisoluzione*
- *Teorie di Lie, teoria dei grafi e combinatoria*

Le attività di ricerca del Dipartimento sono finanziate, in aggiunta a quanto erogato dalla Sapienza attraverso le varie tipologie di progetti di Ateneo, da risorse esterne provenienti dal MIUR (progetti PRIN, FIRB, FIRS), dall'Unione Europea (VI e VII PQ: nell'ultimo quinquennio: EUROFEL, FOREMOST, ELI, IRUX-FEL, COST-MP0702, P11 e P14, NANORAY, HiPER, ITN SADCO), da Enti di ricerca nazionali (CNR, INFN, ENEA, CNISM, INDAM) ed esteri (CNRS, STFC) e Enti locali (Provincia, Regione). Risorse sono inoltre fornite da contratti conto-terzi con Enti pubblici (nell'ultimo quinquennio: INFN, ENEA, CNISM, Ministero della Difesa, SOGIN, Museo Nazionale d'Arte Orientale, Accademia di San Luca, INRAN) e aziende (sempre nell'ultimo quinquennio: Analyzer Medical Systems, Artelab Srl, Avio, CIRA, Elsag Datamat, ITACA Srl, Nuova Elettronica Srl). Per il prossimo triennio, oltre alle risorse già disponibili tramite i precedenti canali, il Dipartimento SBAI intende acquisire ulteriori finanziamenti potenziando le collaborazioni con il mondo produttivo.

La natura interdisciplinare del Dipartimento SBAI, ha già dato luogo, a meno di due anni dalla sua costituzione, a varie collaborazioni fra ricercatori delle diverse sezioni. Il Dipartimento intende potenziare e valorizzare tale interdisciplinarietà. Fra le prime decisioni attuate in tale direzione si evidenzia il cofinanziamento di tre assegni di ricerca a carattere multidisciplinare. Fra le otto proposte presentate, sono state selezionate, per lo svolgimento a partire dalla seconda metà del 2012 le tematiche relative a

- *Ottimizzazione dell'efficienza di dye solar cells tramite molecular engineering e photon management.*
- *Tomografia con Fasci Elettronici e catene di Markov*
- *Studio chimico-fisico-matematico delle morfologie di nano e quasi-cristalli per applicazioni energetiche.*

Alla luce dell'interesse suscitato da quest'iniziativa, il Dipartimento intende riproporre in futuro analoghe forme di cofinanziamento, al fine di intensificare le sinergie e le collaborazioni fra le sezioni.

Altre azioni che il Dipartimento perseguirà in maniera prioritaria per rafforzare la propria attività riguardano

- il potenziamento delle collaborazioni con il mondo produttivo;
- l'incremento delle ricerche condotte in comune fra più sezioni e quindi il sostegno alle relative richieste di finanziamento;
- la diffusione dei risultati ottenuti, sia verso l'esterno, sia all'interno del Dipartimento stesso (per favorire l'interazione fra le diverse aree culturali), anche tramite la pubblicazione di un rapporto biennale di attività e lo svolgimento di una "conferenza di dipartimento";
- il sostegno costante al Dottorato "Matematica per l'Ingegneria, Elettromagnetismo e Nanoscienze", di cui il Dipartimento SBAI costituisce la struttura di supporto. Il dottorato offre tre curricula,

- rispettivamente rivolti alla matematica, alla fisica e alle nano scienze;
- la partecipazione con numerosi docenti al Corso di Dottorato in “Fisica degli Acceleratori”, argomento alla frontiera tra fisica e tecnologie avanzate, che consente inoltre di rafforzare collaborazioni con l’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e con il Dipartimento di Fisica;
 - la partecipazione al Dottorato in Energetica e Fisica Tecnica, Biofisica e Scienze Applicate all’Ambiente e a Beni Culturali e al Dottorato in Meccanica Teorica e Applicata;
 - il sostegno a iniziative che aumentino il numero di dottorati in cotutela;
 - l’interscambio di visitatori scientifici.

Il Dipartimento SBAI ritiene, trovando conferma in quanto già avvenuto dalla sua costituzione, che la coesistenza nello stesso ambito di competenze diverse costituisca un suo punto di forza e intende valorizzare questo aspetto, sia al suo interno, sia nelle interazioni con le Facoltà di Ingegneria, nelle quali la ricerca applicata e la progettazione avanzata necessitano di un solido substrato rappresentato dalle conoscenze che unicamente le scienze di base e applicate sono in grado di fornire.

SEZIONE DI CHIMICA

La sezione svolge ricerche nel campo della chimica sperimentale, sia nell'ambito della chimica fisica che in quello della chimica organica e biologica. La sezione si avvale quindi di strumentazione all'avanguardia per lo studio di processi e la caratterizzazione di materiali organici ed inorganici (strumentazione elettrochimica, raggi x, NMR, HPLC-PDA-ESI-MS-MS, ecc.).

Docenti coinvolti: Isabella Chiarotto, Marta Feroci, Giancarlo Marrosu, Leonardo Mattiello, Mauro Pasquali, Rita Petrucci, Stefano Vecchio. La sezione si avvale inoltre delle competenze di Marco Di Pilato, assistente tecnico di laboratorio.

Elettrochimica, chimica fisica e sintesi chimica di prodotti di interesse tecnologico, industriale, farmaceutico e biologico.

Nell'odierna società tecnologica i campi di applicazione delle metodologie chimiche e chimico-fisiche sono molteplici, dalla sintesi di nuove molecole e materiali utilizzabili in campo tecnologico, farmaceutico o alimentare, allo studio delle proprietà e prestazioni di tali materiali, allo studio dei meccanismi di processi biologici.

I ricercatori e i docenti del Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria di Sapienza Università di Roma si dedicano attivamente all'utilizzo della chimica in questi campi; ad esempio, la sintesi e caratterizzazione di molecole e materiali utilizzabili in dispositivi tecnologici (OLED, celle solari organiche, batterie litio-ione, celle a combustibile, biosensori) è portata avanti mediante tecniche classiche di sintesi di molecole organiche e materiali inorganici, o mediante sintesi elettrochimica. Un target perseguito sarà la sintesi di nuovi derivati aromatici con proprietà di elettroluminescenza nel campo del blu e dell'UV, con migliori caratteristiche chimico-fisiche rispetto alle molecole in uso negli OLED (Organic Light-Emitting Diodes), o di complessi dell'erbio, utilizzabili invece nel campo dell'infrarosso, anch'essi con promettenti proprietà soprattutto riguardo alla morfologia del film sottile. Verrà effettuata inoltre la sintesi e la caratterizzazione di nuovi materiali oligomericici di interesse nel campo del fotovoltaico organico, apportando delle modifiche strutturali e funzionali a substrati noti e correntemente utilizzati in celle solari organiche.

La sintesi chimica viene anche applicata alla costruzione di nuovi materiali elettrochimici nanostrutturati (come il biossido di titanio ed il titanato di litio) per batterie a litio-ione, o di nuovi elettrocatalizzatori nanostrutturati per celle a combustibile ad alta e bassa temperatura, o ancora nella costruzione di biosensori impedimetrici per la determinazione del glucosio basati su nanotubi d'oro. L'elettrochimica diventa quindi la tecnica d'elezione per lo studio di questi nuovi materiali e per la loro sintesi, permettendo un'analisi approfondita delle loro prestazioni (ad esempio mediante la tecnica della spettroscopia di potenziale e le misure di impedenza elettrochimica). Verranno testati i nanotubi di titanio in batterie al litio, per caratterizzarne le prestazioni in applicazioni di potenza, e verranno studiati diversi materiali al fine di trovare catalizzatori per celle a combustibile che non si avvelenino a basse temperature e molto più stabili per le celle ad alte temperature. Verrà studiato inoltre l'utilizzo dei nanotubi di biossido di titanio come anodo nella produzione fotoelettrochimica dell'idrogeno.

L'elettrochimica permette anche di studiare i processi redox e i meccanismi coinvolti nell'attività antiossidante di molecole naturali con potenziale valore terapeutico (quali chinoni e polifenoli), da cui dipende il delicato equilibrio tra effetti biologici positivi e tossicità. In particolare, lo studio della reattività di e verso specie radicaliche (quali le specie reattive dell'ossigeno ROS) verrà condotto, oltre che con i metodi elettrochimici classici, mediante spettroelettrochimica (elettrolisi in cella UV) e supportato da analisi EPR per la caratterizzazione delle specie radicaliche. La determinazione quantitativa di molecole di interesse biologico, farmaci e metaboliti, antiossidanti in matrici diverse, incluso estratti da scarti alimentari, sarà effettuata mediante HPLC-PDA-ESI-MS-MS.

Non meno importante è la possibilità di utilizzare l'elettrochimica come metodica "green" nella sintesi

di prodotti di chimica fine (ad es., β -lattami) o di chimica di base (esteri, carbammati, etc.). Infatti l'elettrochimica permette l'utilizzo di un reattivo, l'elettrone, ecocompatibile, economico, privo di sottoprodotti. E' possibile, inoltre, affiancare all'elettrone l'utilizzo di liquidi ionici come solvente-elettrolita di supporto, con l'indubbio vantaggio dell'uso di solventi a tensione di vapore nulla (non inquinanti dell'aria) e riciclabili (vantaggio economico); la possibilità di attivare elettrochimicamente la CO_2 (termodinamicamente inerte) permette il suo uso in sintesi organica in condizioni estremamente soft. L'elettrosintesi organica verrà utilizzata nella esterificazione ed ammidazione ossidativa di aldeidi mediata da carbeni N-eterociclici ottenuti via riduzione catodica dei corrispondenti liquidi ionici, che quindi giocheranno il doppio ruolo di precatalizzatori e di sistemi solvente-elettrolita di supporto. Questa metodica affiancherà all'indubbio vantaggio "green" della combinazione elettrone-liquidi ionici, il vantaggio dell'utilizzo di catalizzatori organici, fortemente consigliati nei principi della Green Chemistry. La carbossilazione di substrati organici a dare prodotti di interesse farmaceutico ed industriale verrà inoltre effettuata in liquidi ionici a potenziali di lavoro inferiori al potenziale di scarica del biossido di carbonio.

La stabilità termica di pesticidi e di farmaci, la compatibilità fra principio attivo ed eccipienti, i processi degradativi degli alimenti attivati mediante un innalzamento di temperatura, possono essere studiati mediante analisi termica (TGA e DSC), riuscendo ad ottenere informazioni di notevole importanza per l'industria. E' infatti possibile, mediante queste analisi, determinare eventuali interazioni (reazioni chimiche) tra principio attivo ed eccipienti presenti nella formulazione farmaceutica, oppure dare indicazioni sulle migliori condizioni di conservazione e/o trattamento termico di alimenti (ad es., essiccazione della pasta artigianale). Questa tecnica verrà applicata anche alla caratterizzazione ed alla determinazione della stabilità di intermedi sintetici di pesticidi e di principi attivi di specialità farmaceutiche, al fine di collaborare al completamento della banca dati NIST relativa alle proprietà termodinamiche principali di tali composti.

SEZIONE DI FISICA

La sezione svolge ricerche su un ampio spettro di temi di fisica fondamentale e applicata alle tecnologie avanzate, all'ingegneria, alla medicina e al patrimonio artistico. Riguardano aree di competenza "storica" (acceleratori di particelle, acustica, archeometria, ottica e fotonica, microscopia, semiconduttori), altre ormai consolidate (fisica medica, plasmi) e altre ancora di più recente sviluppo (nanoscienze e nanotecnologie) in cui il dipartimento svolge già un ruolo rilevante e riconosciuto.

Acceleratori e sorgenti di particelle

Acceleratori di particelle convenzionali: progettazione, realizzazione, caratterizzazione e ottimizzazione elettromagnetica di prototipi di dispositivi a microonde per acceleratori dedicati a: collisori nella fisica delle alte energie, sorgenti di radiazione di sincrotrone, laser a elettroni liberi, sviluppo di sorgenti per applicazioni industriali e medicali (es. adroterapia). Viene anche effettuato lo studio teorico e numerico della dinamica dei fasci con particolare riguardo agli effetti collettivi che nascono dall'interazione con i campi elettromagnetici prodotti dai fasci stessi negli acceleratori. L'attività di ricerca prevista nei prossimi anni riguarda la collaborazione con il CERN (presso cui uno dei componenti il gruppo di ricerca ha un incarico di associazione scientifica) sullo studio degli effetti collettivi per l'upgrade di LHC, la collaborazione con INFN-LNF sulla test-facility SPARC_LAB e sulla progettazione e costruzione di un nuovo Linac in banda C per la produzione di raggi gamma tramite Compton back-scattering nell'ambito del progetto europeo ELI-NP.

Acceleratori di particelle non convenzionali: attività sperimentale, studio e simulazione di sorgenti di particelle non convenzionali. L'interazione plasma-laser permette di ottenere sorgenti di particelle cariche (elettroni e protoni) le cui caratteristiche, pur non essendo ancora competitive con quelle degli acceleratori convenzionali, hanno potenzialità elevate: i forti gradienti di accelerazione che si possono ottenere all'interno dei plasmi (energie del GeV su distanze di qualche millimetro), permettono di ridurre il costo e la dimensione degli attuali acceleratori. L'attività di ricerca svolta nel "Laboratorio di Nuove Tecniche di Accelerazione", dove vengono studiate queste nuove sorgenti, include la produzione di protoni, lo studio di nuove sorgenti laser e del loro upgrade, simulazioni per la cattura e il trasporto delle particelle cariche generate dall'interazione plasma-laser. L'attività sperimentale viene svolta presso diverse infrastrutture di laser ad alta potenza, come LULI (Parigi), RAL (Inghilterra), LLNL (Stati Uniti), INRS (Canada). Nei prossimi tre anni si prevede di continuare l'attività sullo studio della generazione di fasci di particelle basati su accelerazione plasma-laser, in particolare per implementarli su infrastrutture dedicate a questo scopo (ELI, APOLLON/CILEX, ALLS), includendo l'ottimizzazione sia della sorgente laser e che dell'interazione plasma-laser.

Docenti: L. Palumbo, M. Migliorati, A. Mostacci; RTD: P. Antici; Assegnista: L. Lancia; dottorandi: N. Biancacci, S. Persichelli, G. Costanza, F. Massimo, R. Salemme.

Laboratorio: misure RF su strutture acceleranti, cavità, guide d'onda e misure di campi e.m.

Acustica fisica e bioacustica

Acustica fisica. Storicamente presente nel dipartimento, si articola e si articolerà nei seguenti temi:

- Non linearità acustiche: generazione di armoniche e subarmoniche in strutture elastiche finite, fenomeni di soglia, fenomeni caotici, accoppiamento modale per non linearità.
- Propagazione anomala delle onde di Lamb (onde di strato): effetto tunnel acustico, propagazione di onde elastiche di tipo backward (velocità di fase con verso opposto alla velocità di gruppo).
- Effetto termoacustico: studio e realizzazione di un frigorifero acustico.

Bioacustica. Presente da qualche tempo nel Laboratorio, si è sviluppata in parallelo con l'integrazione sempre più crescente con il corso di laurea in ingegneria clinica e biomedica anche in termini di didattica (corsi erogati e tesi di laurea). I temi di ricerca all'interno di questa linea hanno riguardato e riguardano:

- Studio delle proprietà elastiche degli agenti di contrasto usati in ecografia medica.
- Modellazione di strutture biologiche in termini di strutture tensegrali con particolare interesse a comportamenti vibrazionali di tipo non lineare (generazione di armoniche e subarmoniche, bistabilità) e alla natura autosimile delle aggregazioni tensegrali di tipo macroscopico (modellazione della crescita di biofilm di batteri).
- Applicazioni biomedicali dell'acustica, fra cui: ottimizzazione di strumentazione laparoscopica per anastomosi intestinale; miglioramento delle condizioni di benessere acustico nelle camere iperbariche.

Docenti: A. Bettucci, M. Germano.

Laboratorio di acustica fisica: cella foto acustica, vibrometro a BF, generatori di segnale, modulatore acusto-ottico, amplificatore di segnale a basso rumore, laser ion-argon.

Archeometria e analisi non distruttive

L'attività del Laboratorio si concentra su due linee principali: sviluppo di strumentazione; uso della strumentazione per analisi non distruttive di beni culturali. Entrambe si affiancano all'attività didattica rivolta al corso di laurea in Tecnologie per la Conservazione e il Restauro dei Beni Culturali (di cui G.E.G. è Presidente del Consiglio d'Area) e a numerosi corsi per la Facoltà di Lettere. Vi sono inoltre attività di consulenza con la Società Assing per lo sviluppo di strumentazione portatile avanzata nell'ambito di un progetto finanziato dalla Regione Lazio, nonché attività conto terzi.

Sviluppo di strumentazioni per analisi archeometriche:

- Collaudo e impiego dell'apparecchiatura necessaria per eseguire l'autenticazione di reperti ceramici mediante misure di termoluminescenza.
- Acquisizione di nuova strumentazione per analisi mediante spettroscopia Raman, aggiornamento di quella per la spettroscopia XRF e nel visibile; riflettografie multispettrali dall'UV all'IR.

Analisi ND eseguite in situ. Studi di questo genere sono stati e continueranno ad essere svolti in collaborazione con storici dell'arte, archeologi, sovrintendenze, musei, restauratori, in base alle loro richieste, cui si aggiunge l'attività svolta in collaborazione con le Forze dell'Ordine preposte alla tutela del patrimonio artistico. Sono state aperte recentemente collaborazioni ufficiali, che proseguiranno nei prossimi anni, con il CNR di Montelibretti, l'Università Cattolica del Sacro Cuore per indagini archeometriche su reperti rinvenuti durante scavi in corso a Banbhore (Pakistan) e per attività di addestramento; l'Università di Kocheli per attività di ricerca e di formazione nel settore della conservazione, l'Università dello stato di Rio de Janeiro (UERJ) per attività di ricerca e di formazione. Come esempio di alcuni recenti lavori di particolare interesse, si ricordano:

- Studio di dipinti murali romani del primo secolo d.C., scelti in modo da costituire efficaci elementi di confronto tra di loro per approfondire le loro tecniche di realizzazione.
- Studio di reperti ceramici, per caratterizzarne la provenienza e il metodo di esecuzione.
- Studio di reperti metallici, tra cui ricordiamo gli argenti di Morgantina; le Insegne Imperiali di Massenzio; gli specchi etruschi di bronzo del Museo delle Antichità Etrusco Italiane; la statua del Perseo di Benvenuto Cellini, Monete di epoca Romana rinvenute a Pompei; Statua in Bronzo di San Pietro nella basilica Vaticana;
- Analisi statistica dei dati con tecniche innovative per l'archeometria, per esempio con reti neurali.
- Analisi di dipinti antichi e non e di altri reperti su commissione di restauratori e storici dell'arte.
- Indagini archeometriche sul monumento funebre di papa Sisto IV del Pollaiuolo.
- Studio archeometrico di ori precolombiani del Perù (progetto bilat. CNR-CONCYTEC 2009-11).

Docenti: A. C. Felici, G. E. Gigante, M. Piacentini.

Laboratorio: termoluminescenza, spettroscopia ottica, fluorescenza dei raggi X (XRF) e RAMAN, microscopio digitale, fotocamere per la ripresa delle immagini in varie bande spettrali dall'UV all'IR.

Fisica delle particelle elementari e sue applicazioni in campo medicale

La ricerca si sviluppa lungo due direttrici: la prima consiste nello studio delle interazioni fondamentali e richiede l'utilizzo dei grandi acceleratori operanti al CERN (LHC) e a Frascati (DAΦNE) per lo studio, rispettivamente, del quark b (LHCb) e del quark s (KLOE). I partecipanti hanno contribuito attivamente alla progettazione, costruzione e al test degli apparati sperimentali (rivelatori ed elettronica per il trigger), all'acquisizione dati (in corso) e all'analisi dati. Nel prossimo futuro i contributi più significativi miglioreranno il panorama sperimentale alle diverse energie: a LHC nei settori dei decadimenti rari, in particolare in due muoni, del B e del Δ (misure indirette di contributi oltre il modello standard), delle misure di precisione dei meccanismi di violazione della simmetria CP e nella ricerca indiretta di fenomeni non descrivibili dal modello standard; a DAΦNE (con la versione aggiornata dell'apparato KLOE) nella fisica del K, nello studio della matrice CKM, dei mesoni η e η', delle simmetrie discrete dei sistemi col quark s.

La seconda direttrice di ricerca consiste nell'applicazione di tecniche di rivelazione della fisica delle

particelle elementari al campo della terapia e diagnostica medica. L'attività riguarda soprattutto l'adroterapia con ioni carbonio: dalla simulazione dettagliata dei processi fisici coinvolti, alle misure delle sezioni d'urto di frammentazione di ioni leggeri sia alle energie del centro di proton-terapia oftalmica a Catania che a quelli dei fasci terapeutici di carbonio al GSI, all'interno della collaborazione internazionale FIRST. In parallelo si studiano metodologie innovative per la determinazione del rilascio di dose nel paziente durante trattamento con fasci adronici (progetti finanziati dall'IIT e dal Centro Fermi) e sonde dosimetriche per uso intra-operatorio. Un innovativo dosimetro per la simultanea rivelazione di fotoni e protoni emessi dall'interazione del fascio terapeutico con il volume sotto trattamento è in fase di simulazione approfondita e costruzione e verrà nei prossimi 3 anni caratterizzato su fasci di ioni e protoni presso strutture Italiane (LNS, CNAO) e internazionali (HIT, GSI). I componenti del gruppo ricoprono incarichi di rilevanza nazionale o internazionale all'interno delle collaborazioni FIRST, KLOE, LHCb, e del Centro Fermi.

Docenti: V. Patera, A. Sarti, A. Sciubba. Assegnisti: M. Marafini (Fermi). Dottorandi: L. Piersanti, I. Mattei (Roma3)

Laboratorio: Laboratorio di Scienze di Base Applicate alla Medicina (SBAM)

Fotonica molecolare e biofotonica

La linea di ricerca è rivolta allo studio delle proprietà ottiche lineari, non lineari, di foto-luminescenza e di elettro-luminescenza di materiali organici molecolari e polimerici, impiegati per la fabbricazione di dispositivi ottici per telecomunicazioni ottiche, di diodi LED organici e di celle solari organiche DSSC. Recentemente, dal 2007, gli studi si sono fortemente orientati al campo della biofotonica, in cui i materiali sono di origine biologica. La linea opera nell'ambito di collaborazioni nazionali e internazionali (Politecnico e Università di Torino, Fraunhofer Institut, Imperial College, ENEA Frascati ed ENEA Casaccia).

Nel corso dei prossimi tre anni (2012-2015) il laboratorio coordinerà il progetto EU-FP7-STREP Bloch surface electromagnetic biosensors for early cancer diagnosis (BILOBA) per lo sviluppo di una piattaforma fotonica per la ricerca di marcatori tumorali, con sviluppi fino all'applicazione pre-clinica. Le ricerche saranno inoltre finanziate dalla partecipazione come sotto unità di ricerca al progetto FIRB Nanosistemi avanzati per una nuova oncologia molecolare (NEWTON), coordinato dall'Università di Torino.

Docenti: F. Michelotti. Assegnisti: A. Sinibaldi

Laboratorio: Fotonica molecolare e biofotonica

Misure nucleari e radioprotezione

Le attività di ricerca, concernenti tecniche strumentali nucleari (gamma, neutroniche, alfa, beta), e studio del trasporto di radiazione nucleare tramite codici Monte Carlo, sono distinte in due categorie Caratterizzazione dei rifiuti radioattivi: nell'ambito della realizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi, in collaborazione con Sogin (convenzione pluriennale in fase di rinnovo) verranno migliorate le prestazioni di sistemi strumentali gamma e neutronici per la caratterizzazione di manufatti di rifiuti radioattivi cementati, in collaborazione con ENEA UTFISST-CATNUC (convenzione ENEA-Sapienza) verranno progettate sorgenti di neutroni guidate da acceleratore per interrogazione neutronica attiva e sviluppati e messi a punto di sistemi di tomografia a spirale, spettrometria alfa e scintillazione liquida a triple coincidenze.

Radioprotezione e Fisica Sanitaria: nell'ambito di una collaborazione pluriennale con l'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI) vengono sviluppate tecniche per la determinazione di radon nelle acque potabili, realizzazione di sorgenti estese per taratura di contaminometri, taratura di campioni secondari neutronici e utilizzo di rivelatori a tracce nucleari per determinazione di plutonio in presenza di interferenza da radon. In collaborazione con industrie del settore vengono condotti studi sulla purezza radionuclidica dei radiofarmaci per PET.

Docenti: R. Remetti. Dottorandi: S. Keshishian

Laboratorio: Radioprotezione

Nanofotonica e Plasmonica nonlineare

La linea di ricerca si articola in sottolinee dedicate allo studio dei fenomeni di interazione della radiazione elettromagnetica alle frequenze ottiche alla nanoscala. Le sottolinee riguardano le proprietà ottiche nonlineari dei metalli (plasmonica-nanoantenne), di metamateriali (combinazioni di metalli e dielettrici opportunamente configurati), materiali biologici, con lo scopo di incrementare gli effetti di

localizzazione del campo elettromagnetico, e che può trovare numerose applicazioni sia nella sensoristica di tipo biologico, sia in campo energetico. In parallelo, un'altra sottolinea si occupa dello studio nonclassico del campo di radiazione per la progettazione di sorgenti parametriche nell'ambito della "quantum information". Le sottolinee indicate riguardano progetti finanziati.

Le varie sottolinee sono essenzialmente di tipo teorico-modellistico, ma è presente anche una parte sperimentale che si avvale della collaborazione con il laboratorio di Fotonica Ultraveloce e con il laboratorio foto termico.

Docenti: C. Sibilìa, M. Centini. Assegnisti: M. C. L'Arciprete, A. Belardini (in collab. con sist. fotonici), A. Benedetti

Laboratorio di calcolo per lo sviluppo di modelli e codici di calcolo in varie piattaforme.

Plasmi prodotti da laser e fusione nucleare a confinamento inerziale

Questa linea di ricerca si attua tramite lo studio di processi di base di fisica dei plasmi, lo sviluppo di modelli teorici e codici di simulazione ad alte prestazioni, la progettazione di esperimenti di rilevanza fusionistica e l'interpretazione di dati sperimentali. Un ruolo importante è svolto dalla simulazione numerica con il codice fluido-radiativo-nucleare per fusione inerziale "DUED", sviluppato e continuamente aggiornato dall'unità. L'attività è basata su competenze sviluppate nel corso di tre decenni, integrate in collaborazioni internazionali e nazionali. Nell'ultimo quadriennio l'unità ha partecipato al progetto europeo HiPER (High Power Laser for Energy Research), coordinandone le ricerche di modellistica e fisica della fusione. Queste hanno portato all'identificazione di uno schema di fusione inerziale con grandi potenzialità energetiche (la "shock ignition"). Nel prossimo triennio, nell'ambito di HiPER e di un progetto PRIN 2009, in collaborazione con ricercatori di vari laboratori (fra cui CELIA-Università di Bordeaux e Laboratory for Laser Energetics, Rochester, NY), intende progettare esperimenti in scala e quindi contribuire alla proposta di un esperimento di ignizione (in linea di principio eseguibile sul laser del Lawrence Livermore National Laboratory o del CEA-Bordeaux). In particolare, affronterà le tematiche relative alla verifica della generazione della pressione necessaria per la shock ignition (esperimenti con il laser PALS Praga, già programmato), al trasporto elettronico non locale, all'ottimizzazione degli schemi di irraggiamento, alla limitazione delle instabilità di Rayleigh-Taylor. L'unità fornirà inoltre supporto teorico e interpretativo a gruppi che effettuano ricerche su applicazioni dei plasmi prodotti da laser all'accelerazione di particelle (in particolare il gruppo acceleratori di SBAL, impegnato nell'esperimento PlasmonX dell'INFN) e allo studio di proprietà dei materiali.

Docenti: S. Atzeni, A. Schiavi. Assegnista: A. Marocchino

Laboratorio di calcolo per sviluppo codici HPC e analisi dati

Proprietà dei materiali per le nanotecnologie

L'attività scientifica prevista nei prossimi anni riguarderà temi inerenti principalmente le nano-scienze e lo studio di materiali innovativi per applicazioni in vari campi delle nano/bio-tecnologie e dell'ingegneria. L'attività sperimentale e teorica, fin qui condotta essenzialmente nei laboratori dipartimentali, sarà ulteriormente sviluppata anche in virtù delle nuove piattaforme strumentali e di calcolo del laboratorio di Nanotecnologie e Nanoscienze (SNN-Lab) del Centro di Ricerca per le Nanotecnologie applicate all'Ingegneria (CNIS). Nel prossimo triennio, si continuerà a studiare materiali innovativi, nanostrutturati e non, per applicazioni nanotecnologiche, orientando l'attività di ricerca allo studio di:

- nano-materiali a base carbonio (nanodiamanti, nanocompositi polimerici, grafiti nanostrutturate, nanotubi a parete multipla e singola, strutture nanografite non planari, materiali ibridi) finalizzati alla realizzazione di dispositivi e sistemi nanostrutturati per applicazioni tecnologiche avanzate (dispositivi elettronici, sensori, sorgenti di elettroni, applicazioni in campo energetico);
- sistemi ibridi organici-inorganici e funzionalizzazione organica di nano-strutture a base carbonio o silicio e superfici inorganiche (semiconduttori e metalli) per applicazioni nel campo della nanomedicina, dell'optoelettronica e del rilevamento di specie biologiche;
- materiali semiconduttori e nano-strutturati per dispositivi nano-tecnologici nel campo dell'elettronica veloce e della conversione dell'energia solare.

Le attività di ricerca indicate saranno sviluppate in stretta integrazione fra tecniche sperimentali di caratterizzazione e supporto teorico-simulativo. Le competenze presenti nel dipartimento consentiranno di integrare tecniche di sintesi, caratterizzazione multiscala e modelli teorico-simulativi avvalendosi anche di una consolidata collaborazione con il laboratorio Minima dell'Università di Tor

Vergata per la sintesi dei materiali studiati.

L'attività sperimentale farà uso di tecniche complementari di nanocaratterizzazione morfologica e strutturale [microscopia elettronica in trasmissione (TEM) e a scansione (SEM)], diffrazione a raggi-X ed elettronica (RHEED, TED, SAED, nanodiffrazione). Per lo studio alla nanoscala delle proprietà funzionali e chimico-fisiche verranno in particolare utilizzate tecniche e metodologie SPM (Scanning Probe Microscopy), sia già consolidate o in corso di sviluppo, che innovative da implementare ex-novo. Si continuerà inoltre lo studio delle modifiche indotte da fasci energetici, fin qui condotto prevalentemente su materiali semiconduttori, estendendolo ai nanomateriali.

Il supporto interpretativo teorico-simulativo sarà fornito da simulazioni atomistiche implementate in codici numerici ad alte prestazioni, dove nell'ultima decade sono state acquisite importanti competenze. In particolare sarà importante definire un paradigma simulativo multi-scala facendo uso di approcci teorici acquisiti, come accurati schemi ab-initio basati sulla teoria del funzionale densità (DFT), approcci quantistici semi-empirici (dinamica molecolare tight binding), dinamica molecolare classica e simulazioni Monte Carlo o, infine, modelli al continuo.

Docenti: M. Rossi, G. Zollo. Assegnisti: D. Passeri, F. Gala, R. Matassa, F. Mura (presso il CNIS); dottorandi: C. Dong (Erasmus Mundi), L. Angeloni.

Laboratorio: Microscopi elettronici in trasmissione e a scansione, sistemi per la diffrazione di elettroni e raggi-X, cluster di calcolo, laboratorio di preparazione dei campioni (con evaporatori, fasci ionici, etc), laser impulsati per laser annealing e fotoablazione, piattaforme per la microscopia di sonda (con teste per AFM e STM, sia in aria che in liquido).

Sistemi fotonici integrati, lineari e nonlineari e loro applicazioni come sensori

Ottica non lineare e integrata – sensori: studio sperimentale e teorico di solitoni ottici spaziali foto-refrattivi in niobato di litio. Progetto e realizzazione innovativi di circuiti ottici integrati per l'elaborazione dei segnali, con particolare riferimento a circuiti che agiscano da sensori distribuiti per l'ambiente, la chimica e la biologia.

Biofisica: ci si prefigge di realizzare modelli che, partendo da schemi noti tipici dei sistemi elettronici, studino il funzionamento di sistemi biologici quali ad esempio i semi vegetali, relativamente a fenomeni quali l'emissione coerente ultradebole, solitoni e meccanismi di comunicazione.

Sistemi ottici e optoelettronici per monitoraggio ambientale: è attiva una collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali e Ambiente di Sapienza finalizzata allo studio e realizzazione di sensori ottici basati sullo scattering della luce per il monitoraggio e la misura di particolato. Si prevede lo sviluppo di sensori per il particolato in soluzione liquida, finalizzati al controllo dei processi industriali di precipitazione di sostanze chimiche in polvere, e sensori per misurare il particolato atmosferico attraverso il campionamento su filtri in cellulosa o in silice.

Nano-ottica: analisi delle proprietà ottiche di materiali nanostrutturati, quali cristalli fotonici e metamateriali. Si prevedono misure di generazione di armonica da strutture progettate ad-hoc per evidenziare come sia possibile accordare la risposta delle strutture utilizzando sistemi di controllo e quindi realizzare sistemi con risposta nonlineare attiva.

Docenti: E. Fazio

Laboratorio di fotonica ultraveloce: laser ai fs; laser in continua, cristalli per conversione di armonica.

Tecniche fototermiche e fotoacustiche per la caratterizzazione optotermica dei materiali

Questa linea di ricerca trova le sue origini in un filone consolidato nel ventennio 1990-2010 che ha portato allo sviluppo di tecniche laser non-distruttive per la caratterizzazione ottica e termica di materiali: tecniche fototermiche (deflessione, radiometria, spettroscopia), spettroscopia foto acustica e ottica, tecniche ottiche per la misura dello scattering ottico delle superfici. Le principali applicazioni riguardano le misure senza contatto di proprietà dei materiali (diffusività termica, spettro di assorbimento ottico, profilo di diffusività termica di assorbimento in materiali non omogene, rugosità superficiale e durezza dei metalli); inoltre si effettuano la rivelazione con misure IR di strati sepolti e subsuperficiali, l'analisi di tracce di inquinanti gassosi, la caratterizzazione di materiali fotovoltaici, termovoltai, metamateriali, cristalli fotonici per dedurre le proprietà termiche alla nanoscala. Nel corso del triennio 2013-2015, il laboratorio oltre a proseguire le attività di ricerca sviluppate in progetti finanziati da enti esterni (Ministero della Difesa, Avio S.p.A, ENEA, FILAS), attiverà ricerche innovative in nanofononica e sulla manipolazione della emissione infrarossa.

Docenti: R. Li Voti. Assegnisti: G. L. Leahu, Dottorandi: G. Cesarini

Laboratorio fototermico.

SEZIONE DI MATEMATICA

La sezione di matematica svolge ricerche sia nell'ambito della matematica di base sia in quello della matematica applicata, ad esempio nei settori della biologia, della medicina e della strumentazione biomedica.

Per descrivere, sia pure a grandi linee, le ricerche recenti che costituiranno le linee guida del piano di sviluppo scientifico della sezione, si è scelto di individuare alcuni capitoli essenziali, che naturalmente presentano connessioni e sovrapposizioni reciproche.

Controllabilità esatta di sistemi distribuiti.

Lo studio dei sistemi con memoria è giustificato da problemi concreti, quali ad esempio il moto di alcuni materiali viscoelastici, per i quali gli effetti del tempo passato sul presente non possono essere trascurati. Nelle equazioni integro-differenziali alle derivate parziali che descrivono il moto, il termine integrale rappresenta proprio la memoria del passato. Si individuano due linee di ricerca principali.

- Una linea di ricerca riguarda lo studio di problemi di raggiungibilità per equazioni integro-differenziali del secondo ordine. Per problema di raggiungibilità si intende provare l'esistenza di una funzione g di quadrato sommabile tale che una soluzione debole dell'equazione con un vincolo sulla frontiera dato da g , si muova da uno stato iniziale nullo ad uno stato dato in un tempo di controllo finito T . A causa della velocità finita di propagazione, il tempo di controllabilità T sarà sufficientemente grande, $T > 2\pi/\gamma$, dove γ è il gap di un ramo di autovalori dell'operatore integro-differenziale. Un metodo per studiare problemi di controllabilità esatta è il cosiddetto Hilbert Uniqueness Method. In questo ambito le stime di tipo Ingham, rivestono un ruolo fondamentale: si stabiliscono le cosiddette disuguaglianze inversa e diretta per la serie di Fourier della soluzione del problema aggiunto, ottenendo per il tempo di controllo la stessa stima ottimale del caso non integrale.
- Dopo lo studio di equazioni integro-differenziali con nuclei esponenziali [Loreti-Sforza, 2009-2011], si affronterà anche lo studio di problemi di raggiungibilità per le soluzioni di sistemi accoppiati. Si studieranno anche risultati di stabilizzazione per le soluzioni di equazioni astratte non lineari. Si intendono dare stime di decadimento per le soluzioni nel caso i nuclei di convoluzione siano debolmente singolari (funzioni integrabili, singolari in "t=0") e verificano condizioni di segno consistenti con le restrizioni termodinamiche del sistema. I principali strumenti sono stime coercive, proprietà dei nuclei definiti positivi e il metodo dei moltiplicatori [Cannarsa-Sforza, 2011]).
(Docenti: Loreti, Sforza)

C^* -algebre e geometria non commutativa.

Convergenza in norma e metodi di risommissione di serie di Fourier di elementi in prodotti incrociati di C^* -algebre rispetto a un'azione (distorta) di un gruppo discreto. Un obiettivo è la comprensione del concetto di azione amenabile, specialmente in relazione alla nozione di regolarità, cioè l'eguaglianza dei prodotti incrociati ridotto e pieno; vari spazi di moltiplicatori operatoriali sono introdotti ed esaminati. Si pensa di ottenere utili informazioni strutturali sui cosiddetti gruppi C^* -semplici. Studio dettagliato di proprietà di endomorfismi ed automorfismi delle algebre di Cuntz e più in generale delle C^* -algebre di grafo, in particolare la struttura dei cosiddetti gruppi di Weyl (interno ed esterno) di queste C^* -algebre. Nel contesto dell'approccio algebrico al gruppo di rinormalizzazione, studio della rappresentabilità dei settori delle reti di algebre di von Neumann emergenti nel limite di scala in termini di opportuni morfismi asintotici, stabilendo un legame tra il confinamento in QCD e la geometria noncommutativa (NCG) di Connes. Esame di vari aspetti categoriali della NCG, in particolare la struttura di categorie rilevanti di triple spettrali e varie strutture associate, in vista di assiomatizzazioni di teorie quantistiche; particolare interesse è riposto in questioni di dualità. Legami tra rappresentazioni di reti conformi sul cerchio e vari invarianti geometrici collegati a formulazioni noncommutative di teoremi dell'indice nel senso di Atiyah-Singer.

(Docenti: Conti).

Didattica della geometria

Intuizione e visualizzazione nell'insegnamento. Apprendimento della geometria del piano e dello spazio: il ruolo dei DGS (software di geometria dinamica).

(Docenti: Accascina, Maroscia)

Equazioni di Hamilton-Jacobi, Networks e interazioni.

Esempi di networks includono problemi dell'ingegneria dell'informazione (internet, www, social networks, email) e problemi di robotica. In questo ambito si individuano due linee di ricerca principali.

- Studio di sistemi dinamici su network. Un problema tipico è il minimo tempo tra un nodo e un obiettivo prefissato. L'obiettivo della ricerca è dare una definizione di soluzione viscosità per equazioni di Hamilton-Jacobi del primo e secondo ordine su un grafo e provare corrispondenti risultati di esistenza, unicità e stabilità. Tale teoria ha applicazioni allo studio di percorsi minimi su grafi nel caso in cui i costi di percorrenza dei rami non siano costanti (algoritmo di Dijkstra). Inoltre si studierà il comportamento asintotico per tempi grandi di sistemi di equazioni di HJ e connessioni con lo studio del comportamento di processi di evoluzione random nell'ambito della teoria KAM debole. L'obiettivo della ricerca è estendere al caso dei sistemi i numerosi risultati ottenuti negli ultimi anni nel caso della singola equazione combinando tecniche di tipo PDE con tecniche legate alla teoria dei sistemi dinamici. Inoltre si intendono studiare modelli ad alto utilizzo di utenza, come l'accesso a networks dove il numero di utenti è molto alto, tramite l'uso della teoria dei Mean Field Games.
- Studio di strutture autosimilari, teoria dei frattali e applicazioni al modello di una mano di robot tramite la teoria delle espansioni in base non intera. Studio dei punti raggiungibili tramite controlli di estensione e di rotazione e approssimazione tramite IFS (Iterated functions systems). Studio della complessità di networks tramite aspetti topologici e metrici delle reti, proprietà autosimilari via la teoria delle espansioni in basi non intere e proprietà qualitative notevoli, e studio della nozione di complessità in relazione a comportamenti critici come malfunzionamenti e nodi congestionati tramite le teorie dell'analisi matematica e della topologia. Un problema interessante è applicare in questo contesto alcune idee di teoria dei nodi sviluppate da V. Jones in modo da definire il rendimento quantitativo delle reti.

(Docenti: Camilli, Conti, Loreti. Collaboratori: Lai, Pucci)

Equazioni frazionarie e diffusioni anomale; campi aleatori sulla sfera e applicazioni cosmologiche

In questo ambito rientrano:

- Diffusioni anomale e processi stocastici governati da equazioni frazionarie che coinvolgono derivate di ordine frazionario o potenze frazionarie di operatori ellittici, associate a fenomeni super- o sub-diffusivi; caratterizzazione ulteriore delle equazioni frazionarie, chiarimento del legame con le equazioni stocastiche.
- Studio dei campi aleatori sulla sfera e formalizzazione, da un punto di vista matematico e statistico, di alcuni modelli legati allo studio della radiazione cosmica di fondo nella teoria spiegata dal modello del Big Bang, tenendo conto delle anisotropie osservabili della radiazione cosmica e dovute agli effetti legati alla presenza di materia oscura (gravitational lensing).

(Docenti: D'Ovidio)

Funzioni speciali in più variabili, analisi armonica discreta e catene di Markov finite.

L'analisi armonica su strutture discrete è un campo di ricerca molto attuale e con svariate applicazioni. In particolare, l'analisi spettrale dell'operatore di Laplace su un grafo è strettamente collegata allo studio della passeggiata a caso sul grafo stesso e gli strumenti a tale scopo sviluppati si applicano a catene di Markov più generali. Uno dei principali fra tali strumenti è costituito dalla famiglia di polinomi ortogonali ordinari e quantistici in una o più variabili, che possono essere visti come funzioni sferiche dell'operatore di Laplace suddetto.

In questo capitolo rientra anche lo studio di alcune funzioni speciali in più variabili e con più indici e loro applicazioni alla costruzione esplicita di soluzioni di problemi di ottica quantistica.
(Docenti: Germano, Martinelli, Scarabotti. Assegnisti: Donno)

Geometria Spettrale. Topologia Algebrica di EDP con applicazioni in Meccanica dei Continui e in Teoria Quantica dei Campi.

In questo capitolo rientrano:

- Stime geometriche degli autovalori dell'operatore di Laplace agente sulle funzioni e sulle forme differenziali di una varietà Riemanniana compatta.
- Spettro di immersioni isometriche: relazioni fra lo spettro e la curvatura (intrinseca o estrinseca). Geometria spettrale inversa: spettro e fenomeni di concentrazione della misura Riemanniana. Relazioni fra la topologia e l'indice di stabilità di ipersuperfici minimali della sfera. Studio dello spettro in presenza di azioni isometriche di gruppi finiti. Studio di problemi spettrali sovradeterminati.

(Docenti: Savo)

- Teoria geometrica delle PDE attraverso strumenti di topologia algebrica. Geometria delle PDE in Meccanica dei continui, in "quantum field theory", in fisica matematica.
(Docenti: Prastaro)

Meccanica Statistica e Teoria Cinetica

In questo capitolo rientrano:

- Il comportamento metastabile di dinamiche parallele come gli automi cellulari probabilistici. Si determina il meccanismo di nucleazione e si stima il tempo di vita media dello stato metastabile. La motivazione principale è lo sviluppo di metodi adatti allo studio di dinamiche parallele.
(Docenti: Cirillo)
- Prosecuzione dello studio dei modelli di tipo cinetico generalizzato e del loro impiego, sia sotto l'aspetto qualitativo sia quantitativo, in settori delle scienze sociali. E' in corso da più anni uno studio circa la possibile costruzione di modelli di tal genere, e della loro adattabilità non solo dal punto di vista previsionale, ma anche quello di interpretazione e dipendenza da specifici parametri di controllo. I modelli che si intendono esaminare sviluppano ulteriormente altri già esaminati nell'anno precedente, ed hanno come struttura matematica un sistema di equazioni di evoluzione differenziali ordinarie non lineari dedotte da un corrispondente sistema integro-differenziale. Si intende approfondire e validare la possibilità di interpretare e prevedere, a partire da interazioni di tipo individuale, la dinamica della risposta qualitativa di una unità sanitaria, e ciò riferendosi a una serie storica di specifiche misurazioni fatte negli anni precedenti.
(Docenti: Lo Schiavo)
- Studio della transizione di fase in mezzi porosi saturi (miscela solido-fluido) nell'ambito della teoria di Biot a partire da un funzionale di Landau-Ginzburg. Aspetti dinamici e convergenza all'equilibrio: equazioni di Allen-Cahn e Cahn-Hilliard per mezzi porosi dissipativi. Studio del moto dell'interfaccia.
(Docenti: Cirillo, Ianiro)
- Lo studio di nuove risonanze tipo quarkonio che fanno sospettare la possibilità che tali stati possano essere spiegati mediante modelli costituiti da tetraquark. Il problema è di grande impatto nella letteratura recente della cromodinamica quantistica (QCD). Al momento l'analisi dei dati sperimentali sembra suggerire la veridicità di tale spiegazione. L'analisi viene affrontata mediante modelli di Meccanica Statistica noti come sistemi di matrici aleatorie.
- Modelli di membrane polimerizzate consistono di reti con connettività fissata che fluttuano nello

spazio in cui sono immerse. La competizione tra la rigidità della rete e la temperatura dà luogo a una transizione di fase detta di folding. Il problema viene utilmente studiato nel contesto di modelli di spin su reticolo bidimensionale e tridimensionale.

(Docenti: Cirillo)

Metodi numerici per la soluzione di problemi inversi

In questo capitolo rientrano:

- Metodi numerici per la soluzione di problemi inversi in tomografia magnetica: e definizione di metodi adattivi per la soluzione del problema inverso a partire da dati magnetici distorti da rumore elevato. Tali metodi trovano applicazioni nel campo delle neuroscienze e, in particolare, nell'identificazione delle aree attive all'interno del cervello.
- Restauro digitale basato su leggi di percezione visiva: integrazione delle leggi che regolano il sistema visivo umano in modelli e metodi per il miglioramento della qualità visiva di immagini (copie digitali di s, libri, manoscritti, foto, giornali, film o fotografie degradate) di cui non è nota la versione originale.
- Metriche per la valutazione della qualità delle immagini: definizione di nuove misure per la valutazione della qualità dell'immagine in accordo con le leggi che regolano la percezione visiva mediante caratterizzazione dei punti di osservazione del sistema visivo umano in fase pre-attentiva e definizione di relazioni formali tra il funzionamento del sistema visivo umano e i teoremi fondamentali della teoria dell'informazione.

(Docenti: Bruni, Pitolli. Dottorandi: Pocci, Paulon)

Modelli differenziali non lineari.

E' noto che molti problemi applicativi vengono descritti in termini analitici da equazioni alle derivate parziali di tipo stazionario ed evolutivo che possono presentare, in aggiunta alla parte principale responsabile della diffusione, termini perturbativi non lineari. In questo capitolo rientrano:

- Problemi stazionari e di evoluzione che presentano termini di ordine inferiore $b(x,u, Du)$ singolari nella variabile che rappresenta la soluzione. Essi intervengono in alcuni problemi di diffusione in mezzi porosi e nello studio del moto subsonico di un gas. I risultati dipendono in generale dalla taglia del termine d'ordine inferiore, dal segno di tale termine, dal suo comportamento vicino alla singolarità e dal fatto che i dati siano non negativi o cambino segno. I modelli possono riguardare materiali compositi e dunque è interessante lo studio del comportamento asintotico di problemi del tipo descritto.

(Docenti: Giachetti, Petitta. Dottorandi: De Bonis, De Cave)

- Formazione ed evoluzione di interfacce e singolarità in problemi parabolici degeneri e/o singolari. Questa linea di ricerca mira allo sviluppo di nuove tecniche analitiche per lo studio di proprietà qualitative, di regolarità e di scala per soluzioni di problemi parabolici, di diretta origine applicativa, il cui carattere degenero o singolare comporta la presenza di interfacce o lo sviluppo di singolarità: ad esempio le equazioni di tipo "thin-film", che descrivono la dinamica di strati liquidi su superfici solide, e il flusso-gradiente della variazione totale per campi di vettori, concretamente utilizzato nel trattamento di immagini a colori.

(Docenti: Giacomelli. Assegnisti: Chiricotto)

- Proprietà di soluzioni di equazioni paraboliche non lineari, anche degeneri, quali comportamento per tempi grandi, esistenza sotto ipotesi ottimali sui dati, esistenza o inesistenza di soluzioni globali nel tempo.

(Docenti: Andreucci, Giachetti, Moschini, Petitta)

- Esistenza e molteplicità di soluzioni di equazioni non lineari, con crescita critica e sottocritica. Problemi ellittici semilineari legati alla geometria, alla fisica e alla biologia (problema di Yamabe, fenomeno della chemiotassi, condensazione di Bose-Einstein).

(Docenti: Pistoia. Assegnisti: Vaira)

- Nuove regole della catena in BV e applicazioni di queste alle leggi di conservazione. Lo studio recente delle leggi di conservazione con flusso discontinuo è motivato da diversi problemi modelli e da un gran numero di applicazioni, quali il traffico autostradale e i sistemi cardiovascolari che presentano delle discontinuità nel flusso. E' noto che le soluzioni delle leggi di conservazione sono funzioni BV e che la definizione usuale di soluzione debole non è sufficiente a selezionare una soluzione unica. Per poter dare una definizione di soluzione entropica si sono cercate formule di tipo "chain rule" per funzioni BV cosiddette nonautonome, cioè che ammettano una dipendenza anche in x . Si è già studiato il caso di sistemi iperbolici unidimensionali e si intende studiare il caso di una singola legge di conservazione nel caso multidimensionale riprendendo la teoria classica delle entropie di Kruzkov.

(Docenti: De Cicco)

Modellizzazione continua di fenomeni fisici e biologici

In questo capitolo rientrano:

- Modelli matematici per la conduzione di corrente in tessuti biologici, destinati soprattutto alla tomografia elettrica impedenziometrica, un metodo diagnostico in ambito medico. I modelli consistono di equazioni a derivate parziali in domini (periodici nello spazio) separati da interfacce su cui si pongono condizioni evolutive che originano da un comportamento resistivo-capacitivo. L'interesse matematico è nello studiare il limite di omogeneizzazione al tendere del periodo a zero. (Docenti: Amar, Andreucci. Dottorandi: Di Costanzo, Notarangelo, Tomassetti)
- Il trasporto di specie chimiche attraverso membrane biologiche ha spesso carattere selettivo di certe specie rispetto ad altre. Un modello di questo comportamento è basato su un processo di apertura/chiusura dei canali transmembrana. Si indagano: 1) il comportamento asintotico del modello nel limite del periodo spaziale e temporale della distribuzione dei canali aperti che tende a zero (con metodi di analisi di EDP); 2) il comportamento del modello in condizioni più realistiche di apertura stocastica dei canali (con metodi Monte Carlo). (Docenti: Amar, Andreucci. Dottorandi: Di Costanzo, Notarangelo, Tomassetti)
- Bioimpedenziometria elettrica in tessuti viventi: vengono studiati modelli che descrivono la conduzione elettrica negli aggregati cellulari. Studio di modelli di diffusione-coalescenza. Modellizzazione di riserve geotermali sottoposte a sfruttamento. (Docenti: Gianni)
- Studio di problemi di evoluzione per materiali termoelastici, viscoelastici e magneto-viscoelastici. In questi sono presenti anche effetti di memoria nella descrizione della deformazione del solido e, anche in questo caso, analiticamente, si traducono in equazioni integro-differenziali di tipo Volterra con nuclei nonlocali. Si affrontano problemi di esistenza ed unicità di soluzioni e/o decadimento esponenziale di soluzioni. (Docenti: Carillo).
- Proprietà algebriche e analitiche di equazioni di evoluzione non lineari. Gerarchie di equazioni differenziali che ammettono soluzioni solitoniche, struttura Hamiltoniana e/o bi-Hamiltoniana: studio di loro proprietà mediante trasformazioni reciproche e di Bäcklund. (Docenti: Carillo, Lo Schiavo)
- Modelli matematici per materiali plastici. È relativamente recente la scoperta che molti metalli, sottoposti a sforzi non uniformi nel regime plastico, presentano notevoli effetti di scala (in sintesi, i campioni più "piccoli" sono più "robusti"). Il tentativo di descrivere tale fenomeno ha condotto allo sviluppo di vari modelli a scale multiple. Questa linea di ricerca mira allo studio di tali modelli al fine di una loro validazione, identificando e quantificando (attraverso tecniche analitiche sia formali che rigorose) il ruolo dei vari parametri introdotti nei modelli e confrontando i risultati

ottenuti con le evidenze sperimentali.
(Docenti: Giacomelli. Assegnisti: Chiricotto)

Modelli matematici di reazioni enzimatiche, in particolare di reti di trasduzione intracellulare, con studio delle proprietà asintotiche; si fa uso di sistemi di equazioni differenziali ordinarie non lineari.

(Docenti: Bersani. Dottorandi: Tomassetti)

- Studio dell'azione di cellule staminali per la riparazione di tessuti necrotici; si studiano in particolare modelli di diffusione e problemi di frontiera libera.
(Docenti: Andreucci, Bersani)
- Stabilità: studio delle piccole oscillazioni di sistemi corpi-gas con metodi dell'analisi funzionale
(Docenti: Vivona).

Probabilità coerenti; teoria delle decisioni; modelli grafici

In questo ambito rientrano:

- Applicazioni della probabilità, intesa come misura finitamente additiva basata sul principio di coerenza di de Finetti, per la gestione dell'incertezza in vari campi applicativi, quali sistemi di ragionamento automatico e logiche condizionali nell'intelligenza artificiale, teoria delle decisioni, psicologia del ragionamento, trattamento dei dati mancanti, riconoscimento di immagini. In questo ambito si studieranno diverse tematiche teoriche: coerenza di probabilità e/o previsioni condizionate anche in relazione alla non dominanza rispetto a scoring rules strettamente proprie; processi inferenziali e legami con misure non necessariamente additive; analisi dei dati mancanti, con informazioni e dati provenienti da diverse fonti o data-sets, con esame della complessità computazionale e possibili stime intervallari.
- Applicazioni della probabilità condizionata (alla de Finetti) a situazioni in apparenza più tipiche di altri approcci all'incertezza, quali fuzzy sets, default reasoning, ecc.; sviluppo di una teoria in grado di gestire problemi reali anche in presenza di valutazioni vaghe e qualitative mediante delle funzioni numeriche; applicazioni alla diagnosi medica e al riconoscimento di immagini, con introduzione di prototipi.
- Applicazioni nel campo dell'intelligenza artificiale, riguardanti sistemi di ragionamento non monotono, regole inferenziali e calcolo di lower/upper bounds probabilistici, psicologia del ragionamento in presenza di incertezza; operazioni logiche di congiunzione, disgiunzione, condizionamento tra eventi condizionati, con approfondimento degli aspetti logici e probabilistici.
- Applicazioni della teoria dell'utilità attesa per la gestione di fenomeni legati a decisioni sociali ed economiche, dove la teoria classica spesso non è adatta; studio di modelli decisionali dinamici e caratterizzazione di preferenze rappresentabili con opportuni funzionali basati su misure di incertezza non-additive, con trattazione di varie forme di condizionamento.
- Applicazioni di modelli grafici statistici in vari ambiti sia teorici (statistica, informatica, geometria) che applicati (economia, ingegneria, medicina); studio di forme più restrittive di indipendenza condizionata e rappresentazione mediante grafi, con applicazioni alla scelta di modelli statistici.
- Studio del problema dell'identificabilità di modelli statistici con variabili latenti, caratterizzazione in base alla topologia del grafo della identificabilità locale e determinazione dello spazio dei parametri dove il modello non è identificabile.
(Docenti: Gilio, Vantaggi. Dottorandi: Paulon)
- Teoria dell'Informazione con o senza probabilità: studio assomatico con applicazioni ai fuzzy sets ed agli operatori di aggregazione.
(Docenti: Vivona).
- G-calculus (generalized calculus): ricerca su operazioni generalizzate con applicazioni a problemi di calcolo differenziale ed integrale.

(Docenti: Vivona)

Strutture irregolari.

In molti problemi concreti si incontrano insiemi irregolari che godono di particolari proprietà di simmetria e si prestano in modo naturale ad essere descritti come strutture di tipo frattale.

In questo contesto rientrano:

- Processi di trasmissione in materiali compositi che contengono fibre isolanti o fibre altamente conduttive; nei relativi modelli matematici compaiono funzionali energia di differente tipo e condizioni di trasmissione (sull'interfaccia) del primo ordine e del secondo ordine rispettivamente.
(Docenti: Capitanelli, Vivaldi, Lancia)
- Processi di diffusione non lineare in strutture frattali; una nuova linea di ricerca e' rivolta allo studio di problemi stazionari e non stazionari semilineari in domini con frontiera e/o interfaccia frattale. Tali problemi descrivono alcuni fenomeni di combustione oppure il moto di un fluido incomprimibile in un tubo rigido. In vista di applicazioni numeriche e' importante approssimare geometrie così irregolari con le corrispondenti geometrie prefrattali approssimanti (curve poligonali o superfici poliedrali) per poi studiare il comportamento asintotico delle soluzioni dei problemi approssimanti alla soluzione del problema limite.
(Docenti: Lancia)
- Approssimazione numerica di problemi al contorno in domini con frontiera e/o interfaccia prefrattale. Lo studio dell'approssimazione numerica di problemi di trasmissione del calore attraverso interfacce prefrattali altamente conduttive nel caso di frattali tipo curva di Koch e' recente ed e' stato esteso da poco ad insiemi più generali come le misture tipo Koch. Nel considerare l'approssimazione numerica di tali problemi ci sono problematiche cruciali da affrontare sia di carattere geometrico/analitico sia di carattere computazionale.
(Docenti: Lancia)
- Risultati di esistenza, regolarità e stabilità o instabilità di soluzioni stazionarie per sistemi parabolici non lineari di tipo misto che intervengono nei modelli di molti fenomeni in campi differenti. Infatti questi sistemi, che sono interessanti anche dal punto di vista matematico, derivano da applicazioni ecologiche come studi di ecosistemi di foreste (L.H.Chuan e A.Yagi 2006), dalla descrizione di alcuni fenomeni fisici come lo studio della dinamica dei reattori nucleari (con feedback adiabatico nel sistema reattore, vedi il libro di Pao 1992), in neurofisiologia nella formulazione di FritzHugh-Nagumo per descrivere gli eventi ionici ed elettrici che si verificano durante la trasmissione di un impulso lungo un assone (Pao 1992) e da applicazioni in biologia per descrivere la diffusione di epidemie (J. D. Murray 2002/2003).
(Docenti: Vivaldi)
- Disuguaglianze funzionali per misure lagrangiane in spazi di tipo omogeneo. Le misure Lagrangiane intervengono nello studio della dinamica di strutture autosimili intrinsecamente irregolari. Sono state ottenute disuguaglianze di tipo Sobolev con pesi nella classi Muckenphoupt (e più generali immersioni negli spazi di Lorentz), disuguaglianze di tipo John-Nirenberg e di tipo Morrey. Recentemente sono state ottenute disuguaglianze di tipo sharp Trudinger per misure Lagrangiane in spazi di tipo omogeneo. Prossimo obiettivo è di stabilire disuguaglianze di tipo sharp Trudinger per misure Lagrangiane scalate secondo raffinate leggi di potenza.
(Docenti: Capitanelli)

Teoria dell'approssimazione e analisi multirisoluzione

In questo ampio capitolo rientrano:

- Analisi multirisoluzione e schemi di suddivisione per il CAGD (Computer Aided Geometric Design): studio e costruzione di schemi di suddivisione locali shape-preserving per la generazione

- di curve, superfici o volumi che siano facilmente controllabili dal disegnatore.
- Modelli e metodi multiscala per l'elaborazione matematica di segnali e immagini: sviluppo di modelli e metodi multiscala per la rappresentazione sparsa di funzioni e loro applicazioni nell'elaborazione dell'informazione: eliminazione di rumore (denoising), compressione, estrazione di caratteristiche, quali transienti in segnali fortemente oscillanti (segnali audio, chirp), definizione di metodologie e tecnologie per l'analisi assistita e il monitoraggio del degrado di Beni Culturali.
 - Applicazioni dell'analisi numerica alla teoria dei codici: studio dei codici bilanciati e dei codici per il controllo di errori a lunghezza variabile e delle relazioni tra il formalismo alla base della teoria dei polinomi interpolatori e una nuova teoria di codici algebrici correttori di errori.
 - Metodi computazionali per la riduzione dei tempi di calcolo: definizione di metodi numerici per la riduzione della complessità computazionale di algoritmi al fine di favorirne l'uso in applicazioni reali, quali videosorveglianza (metodi efficienti per la stima del movimento in sequenze video) o analisi spettrale di segnali ECG (implementazione efficiente della trasformata wavelet razionale).
(Docenti: Bruni, Pitolli, Pezza)

Teorie di Lie, teoria dei grafi e combinatoria

In questo capitolo rientrano:

- Studio di rappresentazioni di algebre di Lie di dimensione infinita tramite l'uso di operatori di vertice e conseguenze combinatorie. Combinatoria di polinomi ortogonali e generalizzazioni. Legami con la teoria delle matrici.
- Etichettature "graziose" di grafi. Costruzione di famiglie infinite di grafi graziosi. Ricerca di grafi non graziosi e di condizioni necessarie per la graziosità. Generalizzazioni. Colorazione di spigoli di grafi. Studio di grafi critici di grado basso e sviluppo di un'analogia con le varietà differenziabili. Colorazione di vertici per grafi di zero-divisori. Rivisitazione di problemi algebrici con strumenti combinatori; introduzione di nuove tecniche con ricadute in algebra commutativa.
- Linguistica e geometria combinatoria. Analisi spettroscopica delle formanti di suoni vocalici; confronto di inventari vocalici con l'ausilio dei diagrammi di Voronoi, nel piano cartesiano delle due frequenze basilari. Nuova ricerca su un approccio combinatorio alla classificazione delle consonanti, mediante la produzione e il confronto di onde sonore relative a consonanti fissate; creazione di una metrica adeguata. Applicazione dei frattali alla linguistica. Studio di grafi semantici costruibili a partire da opere letterarie.
- Decomposizione di grafi in sottografi assegnati. Famiglie di differenze.
(Docenti: Capparelli, Vietri)