

## AREA STRATEGICA: MATEMATICA APPLICATA

### a. Finalità e Obiettivi

Con riferimento ai settori dell'European Research Council, l'Area Strategica Matematica Applicata del CNR copre i temi di ricerca del settore PE1\_8 e quelli compresi tra PE1\_10 e PE1\_21. La matematica applicata è una scienza estremamente versatile, con applicazioni che vanno dai più tradizionali settori (fisica e ingegneria), fino alla biomedicina, all'ambiente e alla chimica, alle scienze sociali, ai processi industriali, ai servizi alla pubblica amministrazione, ai sistemi organizzativi complessi. Un mondo sempre più digitalizzato richiede, infatti, una sempre maggiore formalizzazione per essere compreso, modellato e gestito. Un rilevante e ampio utilizzo della matematica deriva in maniera determinante dalla combinazione della disponibilità di potenti mezzi di calcolo e di enormi quantità di dati, mentre le sfide attuali hanno spinto verso un potenziamento ed un allargamento delle sue basi disciplinari, garantendo in questo modo una crescente affidabilità e adeguatezza metodologica. Le attività di ricerca svolte negli istituti coinvolti nell'Area Strategica, oltre ad avere naturali relazioni con il settore ICT, portano avanti una matematica che, diversamente da quella tradizionale accademica, si propone come vero e proprio strumento di "problem solving", in grado di coprire tutta la catena della ricerca applicata, a partire dall'approccio al problema reale e dalla sua formulazione in termini matematici passando per la sua formalizzazione modellistica, lo sviluppo di metodologie di soluzione ad hoc fino al contesto computazionale, con l'ingegnerizzazione dei propri algoritmi e con l'interpretazione dei risultati nell'ambito applicativo reale. L'obiettivo a cui si mira è duplice. Da un lato, sviluppare, analizzare ed implementare metodologie innovative in diversi settori della matematica applicata, dall'altro, studiarne applicazioni in svariati ambiti. In aree per le quali i problemi sono già posti in "forma matematica", con lo sviluppo di formulazioni alternative, più robuste ed efficienti, l'utilizzo di metodologie "state-of-the-art" e la "certificazione" dei risultati; in aree nelle quali i problemi non hanno ancora "forma matematica", con l'apporto della nostra competenza nella modellizzazione e con lo sviluppo di strumenti di soluzione analitici e computazionali. Questi due obiettivi, trasversali l'uno all'altro (lo stesso problema reale può essere affrontato con metodologie diverse e la stessa metodologia può essere adattata a trattare problemi provenienti da applicazioni completamente scollegate), sono intrinsecamente legati fra loro: è per rispondere alle sempre crescenti esigenze dei problemi applicativi che si sviluppano nuove metodologie, la cui disponibilità permette a sua volta di considerare problemi sempre più complessi ed aderenti al mondo reale. In sintesi, gli oltre 150 ricercatori coinvolti in questa Area Strategica mirano a sviluppare una matematica che sia non solo capace di rispondere alle richieste provenienti dai vari ambiti della ricerca applicata, ma che si faccia essa stessa strumento propulsivo in grado di anticipare e orientare, con i prodotti delle sue ricerche, i bisogni delle varie applicazioni.

### b. Contenuto Tecnico Scientifico

Le attività tecnico-scientifiche di quest'area progettuale si articolano nei temi presentati di seguito. Modellistica e Calcolo Scientifico (Istituti partecipanti: IAC, IASI, ICAR, IIT, IMATI, INSEAN, ISTI) - Questo tema si concentra sulla modellizzazione e sulla simulazione di fenomeni complessi, procedendo a vari livelli: dalla derivazione del modello matematico, alla sua analisi, alla sua risoluzione numerica con lo sviluppo di algoritmi accurati ed efficienti fino alla loro implementazione su moderni sistemi di calcolo. L'attività svolta nell'ambito di questo tema riguarda in particolare:

Modellistica matematica, differenziale, cinetica; Meccanica dei continui; Analisi e soluzione numerica di equazioni differenziali alle derivate parziali e equazioni integrali; Calcolo delle variazioni; Problemi inversi; Calcolo tensoriale; Fluidodinamica e Meccanica computazionali; Teoria dell'approssimazione; Algebra lineare numerica; Trattamento numerico della geometria; Grafica computazionale, Topologia computazionale; Modelli di sistemi dinamici non lineari, multiscala; Informatica matematica, Algoritmica, Librerie numeriche, Calcolo parallelo e distribuito; Calcolo ad alte prestazioni; le numerose applicazioni trattate includono: Aeronautica e Nautica, Biologia e Medicina, Elaborazione ed analisi di Immagini, Fisica, Beni culturali, Ambiente, Materiali avanzati, Smart mobility, Sistemi di produzione, Sicurezza e protezione dei dati.

Modellistica stocastica e analisi di dati (istituti partecipanti: IAC, IASI, ICAR, IM, IMATI). Questo tema si concentra sullo studio e lo sviluppo di metodi di apprendimento da dati rappresentativi di un fenomeno affetto da incertezza. Esprimendo tale incertezza in forma probabilistica, i metodi stocastici permettono di quantificarla, controllarla e comunicarla e, grazie anche allo sviluppo di algoritmi efficienti, di fornire inferenza e previsione. L'attività svolta nell'ambito di questo tema riguarda in particolare: Modellazione stocastica e inferenza statistica; modellistica ed inferenza per equazioni differenziali stocastiche; Sistemi dinamici stocastici; Probabilità applicata; Analisi di dati; Apprendimento statistico; Metodologie Bayesiane; Modellazione, identificazione e stima di sistemi; Affidabilità e manutenibilità. Numerose le applicazioni in settori quali: Ambiente, Biologia, Biomedicina, Climatologia, Ecologia, Energia, Finanza, Genomica, Reti di comunicazioni, Sanità, Settore industriale, Sismologia, Trasporti.

Ottimizzazione e Matematica Discreta (istituti partecipanti: IAC, IASI, IEIT, IIT, IMATI, INSEAN)- L'Ottimizzazione si occupa dello studio di problemi definiti da un insieme di variabili e vincoli (spesso di dimensioni molto grandi), che identificano le soluzioni ammissibili, e da una funzione (obiettivo) che le discrimina. Il tema centrale è quello di individuare metodi di soluzione efficienti per l'individuazione della soluzione che rende massima la funzione obiettivo. Se le variabili assumono solo valori discreti, l'Ottimizzazione interagisce con la Matematica Discreta che studia e utilizza strutture discrete e finite, quali grafi o reti. Principali attività: Programmazione Matematica, Ottimizzazione Combinatoria, Teoria dei Grafi, Scheduling, Algoritmica, Programmazione Logica, Machine Learning, Ricerca Operativa, Ottimizzazione Stocastica, Ottimizzazione Robusta. Un elenco parziale dei contesti applicativi è: Analisi dei Dati, Analisi delle Reti, Fisica Statistica, Nanotecnologie, Medicina, Bioinformatica, Organizzazione Aziendale, Traffico, Trasporti, Telecomunicazioni, smart-grids, Finanza, sistemi elettorali, Energia, produzione industriale, Logistica, Agricoltura, Beni Culturali.

Teoria dei sistemi e dei controlli (istituti partecipanti: IAC, IASI, IEIT) - Il tema riguarda lo studio della teoria del controllo e l'osservazione dello stato, con particolare attenzione all'analisi di sistemi incerti e complessi. I sistemi considerati possono essere a tempo continuo o discreto, a parametri concentrati o distribuiti. L'obiettivo primario è quello di progettare strategie di controllo e stima dello stato che garantiscano robustezza, stabilità, accuratezza ed ottimalità oltre ad essere computazionalmente efficienti. Principali attività: metodi computazionali per i sistemi dinamici; analisi e design di sistemi distribuiti ed interconnessi; networked control systems; algoritmi randomizzati e metodi probabilistici; cyberphysical systems; sistemi di sistemi; controllo e stima distribuita; consensus over networks; sistemi multiagente; opinion dynamics; controllo dell'incertezza, sistemi nonlineari e complessi; controllo robusto e nonlineare; sliding mode; misure

di centralità in reti complesse; trattamento di segnali e immagini; filtraggio non lineare. I settori applicativi sono quelli classici dell'Ingegneria, come quello aerospaziale, chimico, elettrico e meccanico, insieme a nuove aree di ricerca quali Economia, Systems and Synthetic Biology, Scienze Sociali e Reti.