



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MESSINA

## SCUOLA ESTIVA DI ECCELLENZA 2017

MODELLI DI CALCOLO ISPIRATI AI MECCANISMI DI FUNZIONAMENTO BIOLOGICO DEL CERVELLO  
(BRAIN INSPIRED COMPUTING)

24-29 LUGLIO 2017 – VILLA PACE, MESSINA ITALY

RESPONSABILE DEL PROGETTO : PROF. GIOVANNI FINOCCHIO

### COMITATO SCIENTIFICO:

Prof. Michele GAETA (Coordinatore)  
Prof. Giuseppe Pio ANASTASI  
Prof. Bruno AZZERBONI  
Prof. Sergio BALDARI  
Dr.ssa Giuseppina D'AGUI  
Dr. Salvatore DE CARO  
Dr.ssa Francesca GARESCI  
Prof. Fortunato NERI  
Prof. Salvatore PATANE'

### FINALITA' PROGETTO:

L'utilizzo di nuovi paradigmi di calcolo ispirati al funzionamento del cervello umano consentono la realizzazione di computer basati su architetture caratterizzate da velocità di elaborazione di gran lunga superiori a quelle disponibili nelle tecnologie attuali e consumi energetici significativamente più ridotti. Inoltre, algoritmi paralleli di elaborazione ispirati al cervello umano e quindi senza la necessità di una unità di controllo centrale, sono utilizzati sia per la determinazione di soluzioni ottimali in scenari complessi che per l'elaborazione di grandi moli di dati, nello specifico questo ultimo aspetto è cruciale nell'era emergente di "Internet of Things" e "Big Data". La scuola di eccellenza "*Modelli di Calcolo Ispirati ai Meccanismi di Funzionamento Biologico del Cervello*" (*Brain Inspired Computing*), di seguito **BIC**, si propone di introdurre i concetti che stanno alla base della comprensione di tali paradigmi di calcolo e di elaborazione.

Tali concetti si incentrano su discipline e specializzazioni diverse tra le quali matematica, fisica, informatica, medicina, biologia, nanotecnologia, e scienza dei materiali. Di fatto, per approcciare una questione scientifica così complessa, che è basata sulla integrazione di nozioni tipicamente affrontate singolarmente in corsi di studio quali fisica, medicina o ingegneria, è necessario un approccio didattico interdisciplinare che articoli l'insegnamento e l'apprendimento secondo una procedura paradigmatica e formale con l'obiettivo di creare una matrice metodologica comune.

I docenti della scuola e le attività didattiche sono state pianificate da un Comitato Scientifico interdisciplinare composto da docenti appartenenti a tre dipartimenti dell'Università degli Studi di Messina (Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra, Ingegneria, e Scienze Biomediche, Odontoiatriche e delle Immagini Morfologiche e Funzionali).

In particolare, la scuola BIC ha la finalità di fornire la conoscenza necessaria per rispondere a domande quali: Cosa rende il cervello umano un sistema di calcolo così potente, ma allo stesso tempo energeticamente efficiente? E' possibile trovare una metodologia per implementare questo sistema così complesso in un chip? Come si può sfruttare il principio di funzionamento del cervello per elaborare in modo veloce ed efficiente elevate quantità di dati?

I moduli didattici di BIC sono organizzati su tre livelli interconnessi (vedi FIG. 1): Livello *Fondamentale*, Livello di *Approfondimento* e Livello *Specifico*. Il Livello *Fondamentale*, organizzato in tre moduli, garantisce la presenza di didattica di ampio respiro

Il modulo di *Topologia Generale* fornisce gli strumenti matematici che consentono di affrontare problemi di scienze della vita (e.g. analisi della struttura topologica di tessuti in sistemi biologici per diagnosi precoce di tumori), scienze e tecnologie formali e sperimentali (e.g. transizioni topologiche di fase e delle fasi topologiche della materia, argomento per cui è stato assegnato il nobel per la fisica 2016), e scienze umane politiche e sociali (e.g. analisi delle reti sociali). Il modulo di *Nanomagnetismo e Spintronica* è di interesse diretto per le scienze e tecnologie formali e sperimentali in quanto introduce i modelli fisici che sono fondamentali per lo studio della spintronica applicata.

Tuttavia, le nozioni fornite sono anche sufficienti per permettere a studenti di scienze della vita di affrontare lo studio di drug delivery che sfrutta micro e nano particelle magnetiche, approccio vantaggioso dal punto di vista pratico essendo il rumore magnetico di fondo in sistemi viventi quasi nullo. Il modulo di *Funzionalità del Cervello Umano* è sicuramente stimolante per studenti appartenenti alle tre aree di interesse scientifico della scuola.

Il Livello di *Approfondimento* della scuola svilupperà argomenti didattici multidisciplinari ed interdisciplinari connettendo le informazioni fornite nei moduli del Livello *Fondamentale*, e fissando le basi per una comprensione puntuale degli argomenti presentati nel Livello *Specifico*.

La strategicità e l'innovazione dell'argomento scientifico della scuola sono anche evidenziati dalle diverse iniziative finanziate all'interno del programma HORIZON2020 (ad esempio NanoBrain e BioSPINSpired) inclusa la flagship "Human Brain" (<https://www.humanbrainproject.eu/>). In particolare, l'argomento della scuola è fortemente connesso al subproject SP9 (Neuromorphic Computing Platform) della flagship.

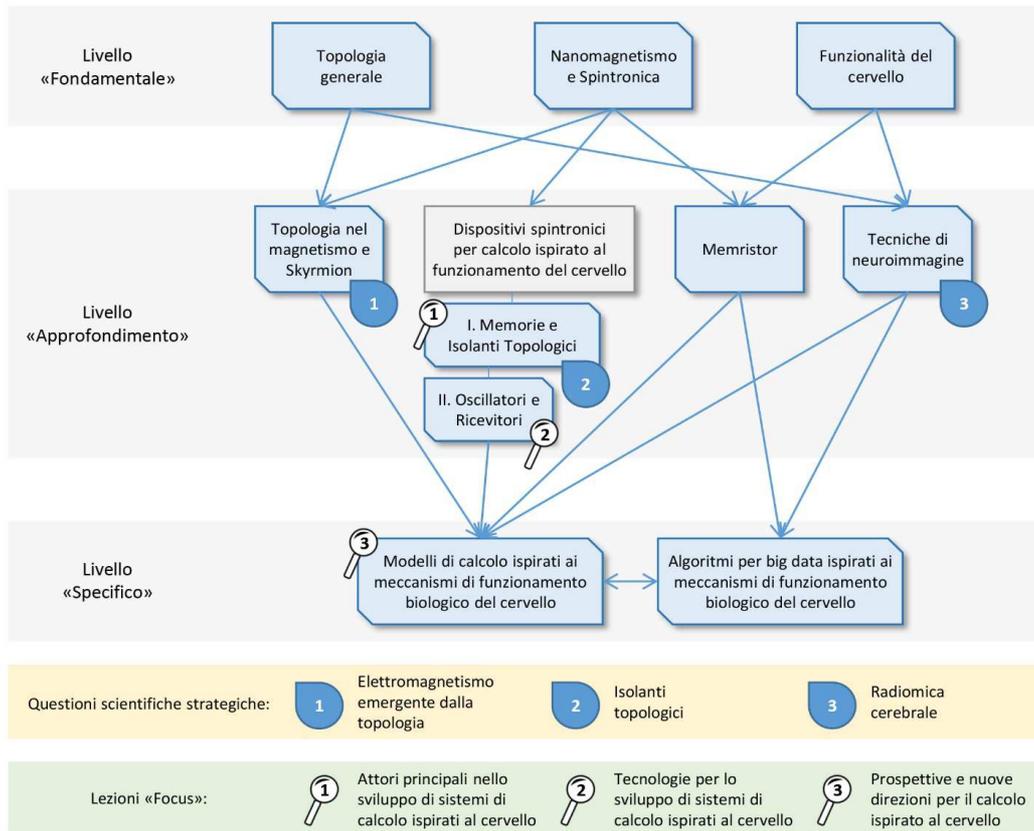


FIG. 1: Articolazione del programma formativo della scuola, con l'indicazione delle questioni scientifiche strategiche e delle lezioni FOCUS.

## ARTICOLAZIONE DEL PROGRAMMA FORMATIVO:

La FIG. 1 descrive in modo dettagliato il programma formativo della scuola e le interconnessioni tra i vari moduli. Come descritto nella sezione "Finalità Progetto" le attività didattiche sono organizzate su tre livelli. Il Livello Fondamentale fornirà gli strumenti necessari a studenti provenienti da percorsi didattici diversi di avere una base conoscitiva comune.

Il livello di Approfondimento fornirà tutti gli strumenti concettuali necessari alla comprensione dello stato dell'arte e delle sfide aperte nel contesto scientifico della scuola, argomenti che infine e in modo dettagliato saranno trattati dai docenti nel *Livello Specifico*. Inoltre, i docenti del *Livello di Approfondimento* presenteranno tre questioni scientifiche strategiche, elettromagnetismo emergente dalla topologia, isolanti topologici, e radiomica cerebrale, che sono di interesse per diversi attori sia a livello europeo che intercontinentale (USA e Asia).

Infine, il programma didattico presenta tre "lezioni FOCUS", che a differenza delle altre lezioni hanno un taglio orientato alla divulgazione. La **prima** di esse si occuperà nel descrivere i principali attori coinvolti nello sviluppo di sistemi di calcolo ispirati al cervello (e.g. IBM). La **seconda** è incentrata sulla descrizione delle tecnologie necessarie per lo sviluppo di sistemi di calcolo ispirati al cervello. Infine nella **terza** lezione FOCUS, il Prof. Di Ventra presenterà le prospettive e nuove direzioni per il calcolo ispirato al cervello.

Di seguito è descritto in modo dettagliato il piano didattico e formativo della scuola.

### **Livello Fondamentale**

#### Topologia Generale (3 ore) - Prof. Gabriele Bonanno

Definizione di una topologia. Relazione d'ordine sulle topologie. Dagli spazi metrici alla topologia. Spazi topologici. Costruire nuovi spazi topologici. Proprietà topologiche. Spazi compatti. Spazi di Hausdorff. Spazi connessi. Spazi connessi per archi. Omotopia. Omomorfismo indotto. Teorema di invarianza per omotopia.

#### Nanomagnetismo e Spintronica (2 ore) - Prof. Giovanni Finocchio

Introduzione al nanomagnetismo. Contributi energetici e origine dei domini. Dinamiche magnetiche (equazione di Landau-Lifshitz-Gilbert). Frequenza di risonanza ferromagnetica. Introduzione alla spintronica. Solitoni. Effetto magnetoresistivo gigante. Giunzioni magnetiche ad effetto tunnel. Correnti spin-polarizzate e trasferimento di momento magnetico di spin. Effetto spin-Hall.

#### Funzionalità del Cervello (2 ore) - Prof. Angelo Quartarone

Il Neurone, le Sinapsi, I neurotrasmettitori, struttura del sistema nervoso, la plasticità cerebrale. Elettroencefalografia, potenziali evocati, co-registrazione EEG - risonanza funzionale.

### **Livello di Approfondimento**

#### Topologia nel magnetismo e skyrmion (4 ore) - Prof. Markus Garst

Concetto di parametri ordinati in magnetismo. Interazioni di scambio e Dzyaloshinskii-Moriya. Interazione Dzyaloshinskii-Moriya di volume. Interazione di Dzyaloshinskii-Moriya di tipo interfacciale. Topologia emergente nel magnetismo, omotopia associata difetti topologici. Esempio I: vortici in magneti XY, transizione di Kosterlitz-Thouless (legata al premio nobel per la fisica nel 2016). Esempio II: domini magnetici come solitoni topologici in 1D. Esempio III: skyrmions come solitoni magnetici in 2D. Dinamica di solitoni. Equazione di Thiele. Proprietà invarianti: momento lineare e angolare. Esempio domini magnetici e skyrmion. Accoppiamento di skyrmion con onde di spin. Logica basata sugli skyrmion. Utilizzo degli skyrmion per calcolo non convenzionale. Questione scientifica strategica 1: Accoppiamento di skyrmion con gli elettroni. Accoppiamento di elettroni itineranti con stati magnetici non uniformi. Elettromagnetismo emergente dalla topologia. Effetto hall topologico.

#### Dispositivi spintronici per il calcolo ispirato al funzionamento del cervello - Modulo 1 : Memorie e Isolanti Topologici (4 ore) - Prof. Pedram Amiri

Memorie magnetiche MRAM dal dispositivo all'implementazione on chip. Uso delle MRAM per calcolo ispirato al funzionamento del cervello umano, principali sfide e vicoli di progettazione e prestazionali. Errore di scrittura e di lettura, consumo energetico, durabilità di MRAM. Strategie implementative, STT-MRAM, SOT-MRAM, VCMA. Memorie racetrack e skyrmioniche. Confronto tra MRAM e resistive RAM quale base per la realizzazione di architetture di calcolo intelligenti. Questione scientifica strategica 2: Isolanti topologici, nuovi materiali per applicazioni a bassissimo consumo energetico. Lezione FOCUS. Attori principali nello sviluppo di sistemi di calcolo ispirate al cervello.

#### Dispositivi spintronici per il calcolo ispirato al funzionamento del cervello - Modulo 2 : Oscillatori e Ricevitori (3 ore) - Prof. Zhongming Zeng

Oscillatori spintronici. Principio di funzionamento. Tunabilità in frequenza e campo magnetico, potenza dissipata, potenza di uscita, larghezza di banda. Sincronizzazione di oscillatori. Ricevitori alle microonde spintronici. Principio di funzionamento, sensitività. Classificazione dei rumori in ricevitori spintronici. Rumore di potenza equivalente (NEP). Lezione FOCUS. Tecnologie per lo sviluppo di sistemi di calcolo ispirati al cervello.

### Memristor (3 ore) - Prof. Fernando Corinto

Overview delle attuali tecnologie sui memristor. Circuiti con memristor. Oscillatori basati su memristors. Sincronizzazione e memorie associative. Cognitive computing. Vettori di memristor e Architetture neuromorfiche.

### Tecniche di Neuroimmagine (2 ore) - Prof. Michele Gaeta

Metodiche di studio anatomico e funzionale del cervello mediante imaging. Basi fisiche della trattografia cerebrale. La diffusione anisotropica. Il progetto Connettoma. *Questione scientifica strategica 3*: Prospettive future dell'imaging del sistema nervoso centrale. La radiomica cerebrale.

## Livello Specifico

### Modelli di calcolo ispirati ai funzionamenti biologici del cervello (5 ore) - Prof. Massimiliano Di Ventra

Memcomputing: un paradigma di calcolo ispirato al cervello. Potenza computazionale. Teoria di campo topologico per la descrizione del paradigma memcomputing. *Lezione FOCUS*. Prospettive e nuove direzioni per il calcolo ispirato al cervello.

### Algoritmi per big data ispirati ai funzionamenti biologici del cervello (2 ore) - Prof. Carlo Vittorio

#### Cannistraci

Introduzione agli algoritmi per la realizzazione di intelligenza artificiale (ad esempio deep learning). Utilizzo di algoritmi di predizione ispirati al comportamento del cervello per l'analisi di big data (Local Community Paradigm e Epitopological learning).

	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato
8:00 – 8:45	<i>Saluti</i>					Tour Isole Eolie
9:00 – 10:00	Finocchio	Bonanno	Gaeta	Garst	Amiri	
10:00 – 11:00	Finocchio	Zeng	Gaeta	Garst	Amiri	
11:30 – 12:30	Bonanno	Garst	Amiri	Di Ventra	Cannistraci	
12:30 – 13:30	Bonanno	Garst	Amiri	Di Ventra	Cannistraci	
15:00 – 16:00	Quartarone	Corinto	Corinto	Zeng	Di Ventra	
16:00 – 17:00	Quartarone	Corinto	Di Ventra	Zeng	Di Ventra	
18:00 – 19:00	<i>Visita laboratori Policlinico</i>	Tour Messina	<i>Incontro con i docenti</i>	Tour Taormina	<i>Tavola rotonda: networking</i>	

Organizzazione didattica della scuola BIC e attività sociali proposte.

### **ATTIVITA' DI NETWORKING:**

Le attività didattiche della scuola saranno assegnate a dieci docenti, quattro dell'Università di Messina, e sei provenienti da Università di riconosciuto prestigio internazionale, Università della California a San Diego (USA), Università della California a Los Angeles (USA), Università Tecnica di Dresda (Germania), SINANO (Suzhou Institute of Nano-Tech and Nanobionics, Chinese Academy of Science) e Politecnico di Torino.

L'obiettivo di networking della scuola è creare una piattaforma che coinvolga scienziati di varie discipline, quali neuroscienze, informatica, matematica, fisica, ingegneria, e sulla quale potranno essere condivise idee al fine di creare attività di collaborazione scientifica. In tal senso, il Direttore della scuola assieme al Comitato Scientifico ha identificato una serie di attività per concretizzare questi sforzi, come ad esempio, creazione di laboratori congiunti con le Università extra-europee e preparazione di progetti HORIZON 2020 con le Università europee.

### **ELENCO DOCENTI:**

<b>NOME E COGNOME</b>
Pedram Kalili Amiri (University of California in Los Angeles, USA)
Gabriele Bonanno (Università di Messina)
Carlo Vittorio Cannistraci (Technical University of Dresden, Germany)
Fernando Corinto (Politecnico di Torino)
Massimiliano Di Ventra (University of California in San Diego, USA)
Michele Gaeta (Università di Messina)
Markus Garst (Technical University of Dresden, Germany)
Giovanni Finocchio (Università di Messina)
Angelo Quartarone (Università di Messina)
Zhongming Zeng (Suzhou Institute of NanoTech and NanoBionics, China)