

# **SEZIONE 2 - PERCORSO FORMATIVO E PROFESSIONALE**

## **Percorso Formativo**

Nota: i riferimenti inseriti nel testo che segue sono reperibili nel documento allegato “Ulteriore\_Elenco\_Prodotti\_Scientifici\_Scelti.pdf” nella forma [TABELLA, RIFERIMENTO] (per esempio [Articoli, 1]).

Ho seguito un percorso di laurea in ingegneria nucleare con un focus sull'area fisico-matematica, dedicandomi in particolare al calcolo numerico applicato a problemi ingegneristici. Di conseguenza, ho orientato la mia carriera verso ruoli con forte componente di ricerca e sviluppo, mantenendo continuità tra formazione e lavoro. L'aggiornamento scientifico e tecnologico è sempre stato centrale nel mio percorso. Nel 2025 ho conseguito un Ph.D. in Engineering in Computer Science (Dipartimento di Ingegneria Informatica, Automatica e Gestionale) presso La Sapienza, con una ricerca incentrata su vari aspetti del machine learning. Questo traguardo rappresenta il punto di arrivo di oltre vent'anni di esperienza nell'ambito dell'intelligenza artificiale e delle metodologie computazionali.

### **1) Laurea in Ingegneria Nucleare (Ottobre 1988 - Ottobre 1994)**

Nel 1988 ho intrapreso il corso di studi in Ingegneria Nucleare presso l'Università di Bologna. Il conseguimento della Laurea (vecchio ordinamento), avvenuto nel 1994, ha rappresentato il coronamento di un percorso formativo caratterizzato da un particolare interesse per la modellazione numerica dei fenomeni fisici e ingegneristici.

La tesi di laurea, intitolata "Problemi di Termo-Fluidodinamica risolti con il Metodo degli Elementi Finiti", si è concentrata sulla risoluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes accoppiate all'equazione di bilancio energetico. Il lavoro ha richiesto lo sviluppo ex novo di un codice di calcolo che implementa il Metodo degli Elementi Finiti, adottando la formulazione debole di Galerkin. La strategia numerica adottata ha previsto l'utilizzo di elementi isoparametrici con differente ordine di interpolazione in funzione delle caratteristiche delle variabili fisiche: elementi a otto nodi con funzioni di forma cubiche per velocità e temperatura, e a quattro nodi con funzioni di forma quadratiche per la pressione. Tale approccio ha consentito di adattare la rappresentazione numerica all'ordine di differenziazione delle incognite (velocità, temperatura, pressione). Il problema così discretizzato, caratterizzato da un sistema di equazioni non lineari a quattro incognite, è stato risolto mediante il metodo di Newton e i sistemi lineari derivati sono stati risolti con il metodo frontale.

L'attività di sperimentazione ha riguardato lo studio di due configurazioni fluidodinamiche: la prima relativa al moto di un fluido incomprimibile in un condotto in presenza di un ostacolo cilindrico sottoposto a sollecitazioni termiche di varia intensità; la seconda relativa al comportamento di un fluido incomprimibile confinato in un contenitore soggetto a gradienti termici sulle pareti.

Il codice sviluppato è stato scritto in linguaggio Fortran 77.

Tramite il lavoro svolto per la tesi ho acquisito competenze in programmazione scientifica e modellazione numerica che hanno orientato l'intero sviluppo della mia carriera professionale.

### **2) Ph.D. in Ingegneria Informatica (Ottobre 2022 - Gennaio 2025)**

Nel gennaio 2025 ho conseguito il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Informatica presso il Dipartimento di Ingegneria Informatica, Automatica e Gestionale de La Sapienza, Università di

Roma (XXXVII ciclo). Il percorso dottorale si è articolato in due fasi distinte: la prima è stata dedicata all'approfondimento del Multi-Agent Reinforcement Learning per la gestione automatica dei semafori in aree urbane (Automatic Traffic Signal Control), la seconda è stata focalizzata sulla Variational Mode Decomposition applicata come pre-processing step al forecasting via machine learning. La transizione tra le due fasi di ricerca è stata determinata da un cambiamento nella mia attività di ricerca con il passaggio dal CNR-ISC al CNR-INM, che ha richiesto una riformulazione del programma di ricerca.

La dissertazione finale, intitolata "Decomposition-based Forecasting with Application to Shipboard Electric Loads", descrive lo sviluppo di algoritmi innovativi nell'ambito della decomposizione modale, con particolare riferimento alla Variational Mode Decomposition (VMD) corredata da applicazioni pratiche di forecasting relative ai consumi elettrici nelle navi da crociera. Durante l'attività di ricerca ho ideato e sviluppato algoritmi che estendono l'applicabilità della VMD ai segnali multi-canale, mediante una strategia che preserva l'integrità informativa del canale principale e redistribuisce sistematicamente le incertezze derivanti dalla decomposizione sui canali ausiliari. Tale approccio rappresenta un contributo originale alla metodologia di analisi dei segnali multi-dimensionali.

I risultati della ricerca sono descritti in cinque contributi scientifici: due articoli pubblicati in atti di conferenze IEEE [Articoli, 6-7], due articoli in rivista [Articoli, 8-9]; un quinto articolo è attualmente in fase di peer review [Articoli, 10]. È in corso di elaborazione un ulteriore articolo che analizza la qualità del forecasting dei modi di oscillazione risultanti dalla decomposizione modale in funzione di varie architetture di reti neurali. Inoltre, è previsto il completamento di una linea di ricerca che indaga come il contenuto informativo dei segnali si distribuisce a livello modale.

#### Curriculum formativo del percorso di Ph.D.:

Gli esami sostenuti durante il programma dottorale hanno compreso le seguenti discipline specialistiche:

Incomplete Databases;

Advanced Topics in Reinforcement Learning: From Theory to Practice;

Advanced Techniques for Finding Bugs in Real-world Software;

Generative Deep Learning;

Advances in High Performance Computing;

Theory and Practice of Deep Learning;

### 3) Competenze Software e di Modellazione Matematica

Dal punto di vista computazionale, nel corso della mia attività di ricerca e professionale, ho utilizzato diversi linguaggi di programmazione e ambienti di sviluppo: linguaggi di alto livello (Python, C++, C#, Java, JavaScript); linguaggi di sistema (C, Assembly); linguaggi storicamente specializzati per il calcolo scientifico (Fortran). Per la mia attività di ricerca mi sono inoltre avvalso di strumenti avanzati per la modellazione numerica (MATLAB) e simbolica (Maple), oltre all'utilizzo di software specializzati per la simulazione termo-fluidodinamica (OpenFOAM). Nello sviluppo di applicazioni di machine learning ho avuto modo di lavorare con diverse librerie software: da PyTorch a TensorFlow (versione 1.x e 2.x) e Keras. Attualmente sviluppo principalmente in linguaggio Python e saltuariamente in C++ per le applicazioni di Multi-Agent Reinforcement Learning (per la parte di simulazione delle dinamiche di interazione degli agenti con l'ambiente, che è normalmente cpu-bound e necessita di specifica ottimizzazione) [Articoli, 3].

Il mio profilo linguistico comprende una competenza avanzata della lingua inglese, acquisita e consolidata durante il periodo di lavoro presso Imagination Technologies (Regno Unito, 2001-2016), e una conoscenza scolastica della lingua francese.

## **Percorso Professionale**

Nota: i riferimenti inseriti nel testo che segue sono reperibili nel documento allegato “Ulteriore\_Elenco\_Prodotti\_Scientifici\_Scelti.pdf” nella forma [TABELLA, RIFERIMENTO] (per esempio [Articoli, 1]).

Il mio percorso professionale si può articolare in tre fasi distinte, ciascuna caratterizzata da specifiche esperienze tecnologico-scientifiche.

### **Prima Fase: Progettazione e Sviluppo di Sistemi (1994-2001)**

Dopo la laurea, in attesa della chiamata al servizio civile obbligatorio, ho svolto un incarico di docenza nei corsi di recupero in Fisica presso l'istituto tecnico “ITIS” di Teramo. Al termine del servizio civile (1996), sono stato impiegato nel settore privato, inizialmente in ambito di progettazione di sistemi embedded. Il mio primo incarico è stato presso SEA (Teramo, 1996-1997) nel ruolo di progettista software e hardware, nella progettazione di circuiti di interfacciamento con processori SGS-Thomson e nella programmazione a basso livello in linguaggio Assembly di tali processori. Il lavoro di progettazione era finalizzato alla realizzazione di macchine a stati per applicazioni di automazione industriale (automazione di porte, cancelli, ecc, con relativa gestione della logica relativa ai sensori per la sicurezza).

La successiva collaborazione con IDEA (Pescara, 1997-1998) ha comportato un approfondimento delle competenze di progettazione software, con particolare riferimento allo sviluppo di sistemi fluidodinamici mediante linguaggi C (per la parte numerica) e Visual Basic (per la visualizzazione). La mia attività era inquadrata in un progetto più generale relativo alla gestione del Lago di Campostosto (TE). In seguito, la mia attività si è orientata verso lo sviluppo di applicazioni web presso Linea Informatica (Teramo, 1998-1999), dove ho acquisito competenze nell'architettura client-server attraverso l'utilizzo di tecnologie Java, JavaScript e HTML. Qui, tra altre attività di gestione database, ho realizzato un prototipo per un'architettura client-server per la Provincia di Teramo che consentisse l'interfacciamento con un database amministrativo.

L'esperienza più formativa di questa fase professionale è stata rappresentata dall'impiego presso VIASAT (Roma, 1999-2001), nel cui ambito mi sono specializzato nella progettazione di sistemi per la gestione automatica dei processi (il S/W fungeva da sistemista virtuale, analizzando problematiche dei processi che monitorava quali memory leak, hung process ed eventualmente eseguiva terminazione e re-boot) e back-end per l'elaborazione di dati satellitari, con particolare riferimento alle tecnologie differential GPS implementate in linguaggio C++ (scopo del S/W era di affinare l'accuratezza di dati scrambled che giungevano dal satellite). Tale esperienza, svolta in un contesto aziendale leader nel settore della sicurezza satellitare, mi ha consentito di acquisire competenze avanzate nel settore delle telecomunicazioni satellitari e nella gestione di flussi di dati in real-time.

### **Seconda Fase: Ricerca Industriale nel Regno Unito (2001-2016)**

Il periodo di collaborazione con Imagination Technologies nella divisione PowerVR (VR: Virtual Reality) leader nella R&D in campo visivo, rappresenta una fase particolarmente intensa del mio percorso professionale in termini di innovazione tecnologica e contributi scientifici. Nel ruolo di Senior Research Engineer presso la divisione PowerVR, l'attività di ricerca si è focalizzata sulla concezione e sviluppo di algoritmi nel settore della grafica bidimensionale e tridimensionale, nonché nell'elaborazione di immagini e video digitali [Brevetti, 1-8].

Principali ambiti di contributo scientifico-tecnologico:

- 1) Algoritmi per l'elaborazione video digitale: sviluppo di tecniche innovative per rendering 2D e 3D, de-interlacing, rimozione del rumore grafico, super-risoluzione e separazione Y/C [Brevetti, 1,3-7].

2) Reti neurali per l'elaborazione delle immagini. Il progetto dedicato all'applicazione delle reti neurali per il rilevamento di artefatti derivanti dalla compressione video (2004-2006) ha rappresentato la mia prima esperienza nel campo dell'intelligenza artificiale. Il brevetto scaturito "Detecting The Position of Blocking Artefacts Using A Neural Network" [Brevetti, 8], è stato, tra gli altri, citato da Deepmind Technologies Limited nel brevetto "Compressing images using neural networks" (EP3398114B1, pubblicato il 1° ottobre 2019).

3) Gamut mapping e compressione delle immagini [Brevetti, 2]: Elaborazione di algoritmi per la mappatura del gamut cromatico e tecniche di compressione ad alta efficienza, per migliorare la resa visiva e ottimizzare l'uso della memoria.

#### Ulteriori Progetti:

Grafica 2D: Realizzazione di un renderer bidimensionale per la simulazione del supporto hardware (linguaggio C++), finalizzato allo studio di algoritmi di anti-aliasing compatibili con l'architettura hardware di riferimento.

Grafica 3D: Sviluppo di un algoritmo per il rendering di corpi nuvolosi in scene tridimensionali mediante utilizzo dello Z-buffer del dispositivo, implementato come plugin per 3D Studio Max (linguaggio C++).

Tali algoritmi hanno trovato implementazione in dispositivi consumer (TV, ipad e tablet, smartphone) prodotti da aziende leader del settore, tra cui Sony, Sharp, NEC e Apple.

#### Portfolio brevettuale:

L'originalità e l'impatto scientifico dei risultati conseguiti sono attestati da otto brevetti internazionali [Brevetti, 1-8], depositati presso i principali uffici brevetti internazionali: World Intellectual Property Organization (WO), European Patent Office (EP), United States Patent Office (US), Japan Patent Office (JP), United Kingdom Patent Office (GB) e China National Patent Administration (CN). Degli otto brevetti, in sette casi sono inventore unico.

#### Attività post-industriale:

Al termine della collaborazione con Imagination Technologies ho intrapreso progetti di ricerca diversificati. La collaborazione con Photonic Designs Ltd (Londra, UK, rif. CEO Peter Leaback) ha comportato l'applicazione di metodologie di modellazione fluido-struttura mediante il software OpenFOAM, con particolare riferimento al progetto FinFan+ per lo studio dell'interazione tra sistemi rigidi mobili e fluidi incomprimibili. Parallelamente, mi sono dedicato allo sviluppo videoludico, ideando e realizzando due progetti indie in Unity C#, uno dei quali ha raggiunto la pubblicazione commerciale sulle piattaforme Steam e Google Play.

#### Terza Fase: Ricerca Pubblica presso il CNR (2019-presente)

Dal 2019 la mia attività professionale si è orientata verso la ricerca pubblica presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche, dove ho assunto il ruolo di esperto in machine learning e intelligenza artificiale per lo studio dell'applicazione di algoritmi avanzati a problematiche di rilevanza ambientale, sociale e industriale. Il percorso di ricerca si è sviluppato attraverso tre istituti del CNR (CNR-IIA, CNR-ISC e CNR-INM) con collaborazioni aggiuntive presso il CNR-ISTC su tematiche di multi-agent reinforcement learning (rif. Stefano Nolfi).

#### 1) Assegnista di Ricerca presso CNR-IIA (2019-2022)

Nel periodo immediatamente successivo alla presa di servizio presso il CNR-IIA è stato costituito un gruppo di ricerca dedicato all'Intelligenza Artificiale [Gruppi di Ricerca, 1], con il mandato di

studiare lo stato dell'arte di quelle tematiche di intelligenza artificiale che possano trovare applicazione nelle attività proprie della missione del CNR-IIA. All'interno di tale struttura di ricerca, è stata condotta una valutazione sistematica dell'applicabilità delle tecniche di machine learning a diverse problematiche ambientali, includendo il monitoraggio delle condizioni dei parchi nazionali e l'analisi dell'inquinamento derivante dal traffico stradale.

#### Attività di supervisione e coordinamento:

Il mio ruolo all'interno del gruppo di ricerca ha comportato la supervisione di risorse umane junior e senior, di provenienza nazionale e internazionale nel contesto di progetti di rilevanza per l'istituto:

Isaac Wheeler (Supervisione S/W per la gestione del traffico veicolare tramite tecniche di Machine Learning);

Lorenzo Barbato (Supervisione Progetto "Microsoft AI for Earth" relativa all'early warning di incendi nei parchi nazionali);

Marica De Lucia (Ricoperto il ruolo di Tutor nella Dissertazione Ph.D. della dottoranda);

Johnny Lin (Supervisione apprendimento Python per Machine Learning).

#### Attività didattica e seminari:

L'attività di ricerca ha trovato riscontro in interventi didattici presso istituzioni internazionali. Ho tenuto un seminario presso l'Università di Taipei (Taiwan) dal titolo "Smart Traffic Signal Control on Air Quality" [Seminari, 2], focalizzato sull'analisi e gestione del traffico urbano mediante tecniche di multi-agent reinforcement learning, modellando il fenomeno come un cooperative-competitive stochastic game. Lo studio ha evidenziato miglioramenti significativi nella riduzione delle emissioni inquinanti da traffico veicolare. Un ulteriore intervento didattico è stato svolto presso l'Università di Napoli nell'ambito dell'offerta formativa del Dottorato Nazionale in Intelligenza Artificiale per l'Agrifood, con focus sull'osservazione della Terra mediante prodotti satellitari e l'applicazione del machine learning per la classificazione delle specie vegetali [Seminari, 1].

#### Principali filoni di ricerca:

Progetto SETH [Progetti, 1]: Nell'ambito di questo progetto, mi sono occupato dell'ottimizzazione del traffico veicolare: in particolare lo sviluppo di sistemi di controllo semaforico intelligente mediante Deep Reinforcement Learning multi-agente. I risultati di uno studio preliminare effettuato su una rete stradale, [Articoli, 3], dimostrano miglioramenti significativi nella fluidità del traffico e nella riduzione delle emissioni, rappresentando un contributo originale all'applicazione dell'intelligenza artificiale per la mobilità sostenibile.

Progetti E-SHAPE e LIFE [Progetti, 2-3]: Tramite questi progetti mi sono occupato di remote sensing e classificazione della vegetazione: L'applicazione riguardava reti neurali convoluzionali per la classificazione di habitat di prateria utilizzando dati Sentinel-2, contribuendo all'avanzamento delle metodologie di monitoraggio ambientale via satellite. Il lavoro, pubblicato in [Articoli, 2], presenta implicazioni significative riguardo il contenuto informativo del prodotto satellitare relativamente alla conservazione della biodiversità.

Progetto SIGEPAS [Progetti, 4]: Nella sua formulazione originale, l'obiettivo del progetto SIGEPAS, portato avanti in collaborazione con Roma Città Metropolitana, consisteva nella realizzazione e nell'implementazione di un sistema di supporto alle decisioni (DSS) per la gestione e la manutenzione della rete stradale sia in condizioni di emergenza, sia per la pianificazione delle riparazioni (manutenzione straordinaria), con riferimento alla singola infrastruttura e/o parte della rete stradale. Tale DSS si basava in primo luogo su un "Digital Twin" (gemello digitale), ovvero una replica virtuale della rete stradale della Città Metropolitana di Roma Capitale (strade provinciali) utilizzando dati già organizzati. In secondo luogo, il DSS si basava su dati relativi alle condizioni

del manto stradale e in generale delle infrastrutture integrati da dati meteo e di natura economica, sociale e ambientale resi disponibili in un database opportunamente progettato.

Progetto Arctic Passion [Progetti, 5]: Nell'ambito di questo progetto ho portato avanti il task della previsione della qualità dell'aria: sono stati sviluppati modelli di machine learning per la previsione dei livelli di PM10 in ambiente artico. Uno studio comparativo [Articoli, 4], [S/W Originale (GitHub), 1] dimostra l'efficacia di diverse architetture di reti neurali. La ricerca assume rilevanza strategica per il monitoraggio ambientale in regioni climaticamente sensibili.

Ulteriori contributi riguardano, nel ruolo di co-autore, l'analisi dei modelli matematici utilizzati nella valutazione della penetrazione dell'elettrico del settore automobilistico [Articolo, 1]; un codice che implementa un framework per processare dati di diossido di azoto (NO<sub>2</sub>) da satellite, specificamente progettato per la regione Lazio. Questo sistema legge file NetCDF contenenti misurazioni troposferiche, applica un algoritmo di resampling spaziale per mappare i dati su una griglia personalizzata, e genera output in formato NetCDF4 e pickle. Il processo utilizza ottimizzazioni di ricerca locale del pixel più vicino per accelerare il matching spaziale tra la griglia satellitare originale e quella target [S/W Originale (GitHub), 4].

## 2) Assegnista di Ricerca presso CNR-ISC (2022-2023)

Coerentemente al carattere teorico della missione dell'istituto, la mia attività presso il CNR-ISC è stata connotata dalla partecipazione a tematiche di varia natura, ma accomunate dall'impiego del machine learning. In particolare:

Partecipazione al progetto UIISH [Progetti, 6]: Il progetto UIISH proponeva un'applicazione onnicomprensiva della tematica "smart city" applicata ad un'area centrale della città di Catania. Nell'ambito del progetto, la mia collaborazione si è articolata inizialmente nella formulazione del progetto generale (scritto prendendo spunto del framework del progetto SIGEPAS da me formulato presso il CNR-IIA). In una seconda fase ho collaborato alla redazione di una guida metodologica che analizzasse lo stato dell'arte del complesso degli algoritmi necessari per formalizzare il concetto di "Smart City" occupandomi della parte di gestione del traffico veicolare (uno studio che avevo iniziato presso il CNR-IIA).

Analisi della clusterizzazione degli ammassi stellari: Questo studio è stato condotto in collaborazione con il dottorando Salvatore Ferrone [S/W Originale (GitHub), 3]. Ho implementato un codice Python che utilizza un autoencoder per analizzare dati astronomici a 5 dimensioni (Ascensione Retta, Declinazione, Distanza, Moti propri) estratti da simulazioni della regione di Palomar 5. L'obiettivo è verificare se l'autoencoder, addestrato sui dati simulati, preserva le strutture di stellar stream quando testato su dati artificiali con cluster noti. L'architettura comprime i dati da 5D a 1D attraverso strati neurali, poi ricostruisce i dati originali tramite un decoder. La validazione include: (1) confronto tra dati originali e ricostruiti attraverso proiezioni 2D, (2) identificazione dei cluster tramite Gaussian Mixture Model ottimizzato con criterio BIC, (3) analisi delle distribuzioni nello spazio latente 1D, (4) l'ordinamento basato sull'encoding latente permette l'interpolazione spaziale tramite spline per tracciare la geometria dell'ammassostellare.

Machine Learning applicato a dati medici: Ho supervisionato lo sviluppo di un sistema di diagnosi assistita per l'osteoporosi basato su CNN, collaborando con due studenti universitari nell'implementazione di tecniche di analisi di immagini RM e radiografiche. Il progetto ha affrontato la sfida del noisy labeling attraverso l'implementazione di algoritmi di semi-supervised learning per migliorare la robustezza della classificazione (Rif. Marco Montuori, CNR-ISC).

## 3) TD presso CNR-INM (Novembre 2023-presente)

Negli ultimi due anni presso il CNR-INM, la mia attività di ricerca si è concentrata esclusivamente sul progetto CN-MOST [Progetti, 7], focalizzandosi sullo sviluppo e ottimizzazione di algoritmi di

forecasting per serie temporali caratterizzate da elevata volatilità e limitata quantità di dati. Tali caratteristiche rendono l'applicazione di algoritmi standard di predizione inefficiente, richiedendo lo sviluppo di metodologie innovative di pre-elaborazione del segnale. Per affrontare le criticità intrinseche dei dati, ho investigato l'applicazione di tecniche di decomposizione del segnale come fase preliminare al processo di forecasting. L'adozione della Variational Mode Decomposition (VMD) ha mostrato risultati particolarmente promettenti, spingendomi allo sviluppo di algoritmi derivati che hanno dimostrato efficacia significativa nella gestione della complessità dei dataset analizzati. I primi esperimenti hanno utilizzato la VMD standard per il pre-processamento di dati mono-canale, ottenendo risultati incoraggianti che hanno motivato l'estensione dell'approccio a contesti multi-canale. La necessità di processare efficacemente serie temporali vettoriali ha portato alla progettazione e implementazione di tre algoritmi innovativi, ognuno mirato a preservare l'accuratezza della decomposizione del canale principale, tipicamente quello target del forecasting, mantenendo la capacità di sfruttare sinergicamente l'informazione proveniente da canali ausiliari. Il primo algoritmo, denominato Variational Mode Decomposition with Mode Selection (VMD-MS) [Articoli, 8], [S/W Originale (GitHub), 2], implementa un criterio di prossimità per la selezione di modi oscillatori provenienti da canali diversi, ottimizzando la collaborazione sinergica nel processo di forecasting e dimostrandosi efficace nell'integrazione con il training delle reti neurali utilizzate per la predizione. Il secondo algoritmo, Variational Mode Decomposition with Weighted Mode Selection (VMD-WMS), costituisce un'evoluzione del precedente e integra un sistema di pesatura basato sulla Magnitude Squared Coherence (MSC), incorporando i pesi nel primo layer della rete neurale attraverso una formulazione della funzione obiettivo che ne preserva parzialmente i valori durante l'ottimizzazione via backpropagation. Il terzo algoritmo, Neighborhood Constrained Variational Mode Decomposition (NC-VMD) [Articoli, 10], interviene direttamente nella formulazione variazionale della VMD, presentando applicabilità generale oltre il contesto del forecasting, e preserva il segnale con maggiore contenuto informativo distribuendo l'errore di decomposizione sui segnali ausiliari, dimostrando nel dominio del forecasting [Articoli, 9] prestazioni superiori rispetto alle soluzioni precedentemente sviluppate. L'implementazione degli algoritmi proposti ha mostrato miglioramenti significativi nella qualità del forecasting, particolarmente rilevanti considerando le caratteristiche problematiche dei dataset analizzati nel contesto del progetto CN-MOST, con potenziali applicazioni in ambiti affini che richiedono l'elaborazione di segnali multi-canale con similari caratteristiche di complessità. Parallelamente, ho collaborato come co-autore ad un articolo per l'identificazione di anomalie nelle serie storiche di dati elettrici [Articoli, 5].

L'elenco degli articoli scientifici relativi alla mia attività presso il CNR è riportato nell'allegato "Ulteriore Elenco Prodotti Scientifici Scelti" nella tabella relativa "Articoli"

L'elenco dei progetti S/W da me sviluppati come autore unico relativi alla mia attività presso il CNR e rilasciati sulla piattaforma GitHub con relativa licenza è riportato nell'allegato "Ulteriore Elenco Prodotti Scientifici Scelti" nella tabella relativa "S/W"

## **Prospettive Professionali**

Nota: i riferimenti inseriti nel testo che segue sono reperibili nel documento allegato “Ulteriore\_Elenco\_Prodotti\_Scientifici\_Scelti.pdf” nella forma [TABELLA, RIFERIMENTO] (per esempio [Articoli, 1]).

### Premessa

Le mie attività di ricerca attuali sono focalizzate sullo studio, l’ideazione e lo sviluppo di algoritmi basati sulla Variational Mode Decomposition (VMD). L’obiettivo è costruire architetture ibride VMD-machine learning per il forecasting multi-passo di grandezze di interesse ingegneristico. Nell’ambito del progetto CN-MOST presso il CNR-INM, dove sono attualmente impiegato, il forecasting è stato applicato principalmente a dati di consumo energetico su navi di grandi dimensioni, con l’obiettivo di fornire uno strumento utile agli Energy Managers. Ulteriori applicazioni hanno riguardato l’analisi dei moti-nave.

Tuttavia, questa ricerca va oltre la specifica applicazione industriale; il forecasting è intrinsecamente una tematica multidisciplinare essendo applicabile a serie storiche di varia natura, ed è un task particolarmente complesso in contesti caratterizzati da alta volatilità e dati limitati. Le potenziali applicazioni abbracciano quindi numerosi domini, tra cui fenomeni atmosferici e marini, finanza, epidemiologia, monitoraggio ambientale, gestione energetica, controllo del traffico, manutenzione predittiva, supply chain, neuroscienze e molti altri.

In questo contesto, la VMD, che approssima una serie storica scalare in modi di oscillazione con frequenze e ampiezze che evolvono lentamente rispetto alla fase, può essere estesa a casi vettoriali per il forecasting multi-canale di dati dall’andamento caotico, che esibiscono bassa correlazione reciproca e causalità, semplificando notevolmente la fase di apprendimento degli algoritmi di machine learning. In tali scenari, segnali multipli possono ancora contribuire sinergicamente alla previsione; ciò tuttavia richiede specifici interventi nella formulazione variazionale, che costituiscono il focus principale del mio lavoro e hanno già generato nuove idee algoritmiche. Alcuni di questi approcci sono stati verificati in applicazioni pratiche con risultati promettenti e indicano ulteriori aspetti da esplorare [Articoli, 3,6-10].

Oltre alle applicazioni di forecasting, l’approccio basato su VMD si presta a molteplici tematiche di machine learning (classificazione di pattern, denoising di segnali biomedici, estrazione di feature, anomaly detection) e a settori pratici come l’analisi vibrazionale, EEG/ECG, imaging medicale e segnali multispettrali. Inoltre, la versione bidimensionale della VMD può essere applicata ad immagini singole o in sequenza.

### Prospettive Future.

#### Potenziali linee di ricerca:

1. Studio (teorico e metodologico) di architetture ibride VMD-deep learning per il forecasting di serie temporali vettoriali (multi-canale) dal comportamento irregolare, eventualmente caratterizzate da trend caotici, minima correlazione tra le varie componenti e scarsa disponibilità di dati. L’attività chiave è costituita dalla definizione di nuovi vincoli nella formulazione variazionale, con validazione su dataset eterogenei (connessi a tematiche ambientali, energetiche, ecc). L’impatto atteso di questa ricerca consiste nella concezione e sviluppo di nuovi algoritmi, come già fatto nelle fasi più recenti del mio percorso di ricerca.

2. Studio di altre applicazioni basate sulla VMD come applicazione di pre-processing in altre branche dell’ingegneria, quali image fusion o denoising. L’utilizzo di questa tecnica offre nuove

promettenti prospettive nel digital image processing di immagini satellitari (multispettrali e iperspettrali).

3. Approfondimento dello studio della VMD 2D (un'estensione della VMD monodimensionale di cui ai precedenti due punti). Anche questa ricerca è particolarmente interessante per le potenziali applicazioni all'imaging in relazione all'applicazione di algoritmi basati sul machine learning finalizzati alla classificazione, ricerca di anomalie, early warning, attività di monitorazione e raccolta dati.

Obiettivo quinquennale: Contribuire a posizionare il gruppo di lavoro e in generale l'istituto, come riferimento internazionale per algoritmi di decomposizione adattiva applicati a segnali complessi, quali quelli derivanti dall'osservazione dei fenomeni atmosferici, contribuendo al progresso scientifico e alla competitività tecnologica dell'ente.