



Borsa di studio attivata ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Titolo del progetto: Intelligenza Artificiale e Machine Learning per la transizione energetica green: progettazione e sviluppo di sistemi innovativi per la produzione, distribuzione, accumulo e consumo dell'energia elettrica.

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:

TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE E DELLE COMUNICAZIONI (ICT)

Responsabile scientifico: Prof. Antonello Rizzi

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 12

Numero di mensilità da svolgere all'estero: 6 presso Department of Computer Science - Ryerson University, Toronto, Canada

Azienda: Sis.Ter. Pomos S.r.l. Sede operativa: Viale Battista Bardanzellu, 77Q 00155 Roma

Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: Euro 10.000,00

Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE, ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI con delibera del 21/09/2021

Progetto di ricerca:

Il progetto di ricerca proposto tratta gli argomenti afferenti alle linee dettate dal Green Deal europeo, nel contesto della sostenibilità ambientale, al fine di favorire la transizione verde, nel quadro relativo all'Industry 4.0 europeo, ovvero nei settori dello smart production, smart service e smart energy. In particolare, il tema, in risonanza con gli obiettivi inerenti alla digitalizzazione del PNNR, prevede lo studio e lo sviluppo di algoritmi e tecnologie afferenti al campo dell'Intelligenza Artificiale (IA), il Machine Learning (ML) e i Big Data analytics. È ormai noto che l'IA e le varie sotto discipline, tra cui il ML e la Computational Intelligence (CI) [1], sono concepite come l'asse portante della cosiddetta 4° Rivoluzione Industriale e della transizione verde. Infatti, l'essenza della concezione relativa a tali quadri concettuali avallati dai policy maker è l'introduzione progressiva di sistemi e sottosistemi intelligenti completamente connessi in rete capaci di autoregolare il proprio funzionamento grazie alla spiccata attitudine comunicativa e all'elaborazione ubiquitaria e pervasiva sia on the edge che in cloud. Di fatto, l'odierna disponibilità di smart sensors all'interno dell'IoT, le performanti tecnologie di rete e le infrastrutture di calcolo parallelo e distribuito (in ambito BiG Data) consentono di concepire non solo i sistemi produttivi ma l'intera filiera come sistemi cyberfisici dove la fisica dei processi soggiacenti acquisisce un corrispettivo nel mondo virtuale, anche tramite anelli a controreazione che permettono il modellamento e controllo dei processi stessi. Il seguente progetto si pone l'obiettivo di investigare il tema dell'IA all'interno di un contesto applicativo dove uno degli elementi fondanti è il trasferimento di conoscenza bidirezionale dal mondo della pura ricerca scientifica a quello dello sviluppo. Specificatamente, si andranno ad indagare una serie di algoritmi intelligenti di modellamento e controllo per risolvere problemi relativi ai sistemi cyberfisici. In particolare, la tematica proposta riguarda le Smart Grids e microgrids, ovvero reti energetiche di nuova generazione, caratterizzate da un'alta penetrazione di fonti rinnovabili, generazione distribuita e storage energetico con sistemi di controllo non centralizzato e un'elevata resilienza, nonché capacità di auto-diagnosi. Tali reti, immaginate come una struttura granulare costituita dall'unione di un certo numero di isole energetiche (microgrids) [2], data la presenza di fonti rinnovabili, sono considerate sistemi complessi con comportamenti dinamici eterogenei e stocastici. In tale quadro, è necessario sviluppare paradigmi innovativi di gestione e controllo dei flussi di rete che tengano presente della variabilità dei fenomeni soggiacenti (i.e. imprevedibilità delle fonti eoliche o solari) e delle nuove modalità di scambio energetico dettate dal mercato libero. In più, è necessario dotare le microgrid di Energy Management System (EMS) ad elevata

capacità di automazione e sensing sullo stato dei sistemi di storage. A tal proposito la ricerca intende investigare e sviluppare nuovi metodi di modellamento delle batterie di nuova generazione, in particolare per quanto riguarda lo stato di carica e lo stato di salute, andando a caratterizzare i dispositivi anche dal punto di vista fisico. La motivazione risiede nel poter disporre non solo di dispositivi con date prestazioni misurabili, ma anche di avere un controllo a più basso livello sui fenomeni fisici interni alle batterie, al fine di sviluppare BMS capaci di rispondere ad esigenze eterogenee [3]. Inoltre, nel contesto del decision making sui flussi energetici è importante disporre di sistemi di predizione e forecasting delle variabili di rete, poiché tali informazioni sono preziose sia in fase di analisi di scenario sia nella fase di ottimizzazione dei flussi energetici real-time. In questo ambito è necessario superare i paradigmi lineari e sviluppare algoritmi capaci di modellare sia le correlazioni a lungo termine sia le non-linearità intrinseche presenti in variabili stocastiche come i carichi di rete [4], la produzione, etc. Da un punto di vista strettamente metodologico si propone di partire andando ad inquadrare le Smart Grid come un Sistema Complesso, più precisamente andando a definire quegli isomorfismi per i quali la Smart Grid è identificabile con un Sistema di Sistemi (SoS), il cui modello è la controparte ingegneristica e operativa dei Sistemi Complessi. Inoltre, la CI, disciplina molto viva nel settore della ricerca scientifica, mette a disposizione una serie di metodi e tecnologie che consentono l'applicazione di programmi di Demand Side Management (DSM), la previsione delle variabili di stato della rete e variabili esogene di natura stocastica come ad esempio le variabili meteorologiche. Inoltre, immaginando un contesto di microgrid multiple, assieme a strategie di controllo semi-gerarchiche, è naturale rivolgersi ad approcci ibridi, dove l'ottimizzazione è affidata ad algoritmi afferenti alla Swarm Intelligence (SI) o all'Evolutionary Computing (EC). Tali metodi, oltre alle performance computazionali accennate, hanno la prerogativa di essere non del tutto random search, in quanto, ad esempio nell'EC, la ricerca nello spazio delle soluzioni è guidata da una strategia isomorfa alla selezione naturale biologica prospettata da Charles Darwin nel 1859. In più, data una funzione di fitness o una funzione obiettivo, tali algoritmi di ottimizzazione si rivelano essere derivative free, a differenza di algoritmi classici di ottimizzazione dove è richiesta la conoscenza della funzione obiettivo in forma chiusa.

Tale inquadramento concettuale consente di sviluppare in maniera organica i seguenti task:

- Approfondire tecniche e metodologie di CI presenti in letteratura al fine di avere riferimenti algoritmici allo stato dell'arte, da utilizzarsi anche come benchmarking delle metodiche oggetto di sviluppo.
- Sviluppare una serie di metodologie relative al modellamento e controllo di microgrid con l'obiettivo di rendere scalabili e portabili la loro applicazione sia in un contesto industriale sia in un contesto cittadino, come base per la realizzazione delle Energy Community.
- Sviluppare dei moduli software di gestione e controllo dei flussi di rete sfruttando la versatilità dei Sistemi Fuzzy coadiuvati da metodi di ottimizzazione evolutiva e Swarm Intelligence [5].
- Sviluppare programmi di scheduling energetico, DSM, peak shaving e di inserimento di fonti rinnovabili per l'efficientamento energetico e l'abbattimento del carbon footprint nei sistemi di produzione nel settore primario in contesti industriali preesistenti (e.g. settore petrolchimico), con una moderata capacità di autoproduzione da centrali inquinanti, e a impianti industriali in fase di adeguamento alle politiche verdi.
- Sviluppare sistemi di predizione innovativi delle variabili di interesse (ad esempio, stato fisico di una rete di distribuzione, segnali di prezzo dell'energia, richieste di carico su microgrid e nanogrid) basati sulle moderne tecnologie di deep learning, a supporto della sintesi e dell'ottimizzazione di EMS e BMS.
- Sviluppare modelli physics-based di celle elettrochimiche, utilizzate come buffer energetico nella gestione dei flussi di potenza elettrica.

- Studiare e realizzare l'integrazione delle DR (Biogas, Solare, Eolico) a basso o nullo impatto ambientale.
- Simulare uno scenario multi agente in un contesto Multi-Microgrid [6] in cui ogni agente partecipa come Commercial Virtual Power Player (CVPP) ad un mercato proponendo offerte di vendita o di acquisto dell'energia, nel caso in cui vi sia un surplus o un deficit della stessa all'interno della microgrid.

[1] A. F. Zobaa and A. Vaccaro, Computational Intelligence Applications in Smart Grids: Enabling Methodologies for Proactive and Self-Organizing Power Systems. IMPERIAL COLLEGE PRESS, 2015. doi: 10.1142/p976.

[2] S. Chowdhury, Peter. Crossley, and S. P. Chowdhury, "Microgrids and active distribution networks," 2009. <http://dx.doi.org/10.1049/PBRN006E>

[3] S. X. Chen, H. B. Gooi, and M. Wang, "Sizing of energy storage for microgrids," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 142–151, 2011.

[4] F. M. Bianchi, E. De Santis, A. Rizzi, and A. Sadeghian, "Short-Term Electric Load Forecasting Using Echo State Networks and PCA Decomposition," IEEE Access, vol. 3, pp. 1931–1943, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2485943.

[5] E. De Santis, A. Sadeghian, and A. Rizzi, "A Hierarchical Genetic Optimization of a Fuzzy Logic System for Flow Control in Micro Grids," ArXiv160404789 Cs, Apr. 2016, Accessed: Apr. 20, 2016. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1604.04789>

[6] E. J. Ng and R. A. El-Shatshat, "Multi-microgrid control systems (MMCS)," Power Energy Soc. Gen. Meet. 2010 IEEE, pp. 1–6, 25, doi: 10.1109/PES.2010.5589720.

Titolo del progetto (inglese): Artificial Intelligence and Machine Learning for the green energy transition: design and development of innovative systems for the production, distribution, storage and consumption of electricity.

Progetto di ricerca (inglese):

The proposed research project deals with technical topics related to the European Green Deal - in the context of environmental sustainability - in order to support the green transition, in the framework of the European Industry 4.0, hence in the sectors of smart production, smart services and smart energy. In particular, the topic, in agreement with the objectives of the PNNR in the field of digitalization, involves the study and development of algorithms and technologies related to the field of Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML) and Big Data analytics. It is well-known that AI and different sub-disciplines, including ML and Computational Intelligence (CI) [1], are conceived as the backbone of the so-called 4th Industrial Revolution and the green transition. In fact, the main characteristics of these conceptual frameworks, endorsed by policymakers, is the progressive introduction of intelligent systems and subsystems completely connected in the network, capable of self-regulating their own functioning thanks to high communication capabilities and the ubiquitous and pervasive computing power, both on edge and in cloud. In fact, today's availability of smart sensors within the IoT, the high-performance network technologies and parallel and distributed computing infrastructures (in the BiG Data field) allow us to conceive not only the production systems, but the whole supply chain as cyber-physical systems, where the physics of the underlying processes acquires a

counterpart in the virtual world, also through feedback loops that allow the modeling and control of the processes themselves. The following project aims to investigate the topic of AI within an application context where one of the founding elements is the bidirectional knowledge transfer from the world of pure scientific research to that of industrial development. Specifically, a series of intelligent modeling and control algorithms will be investigated to solve problems related to cyber-physical systems. In particular, the proposed topic concerns Smart Grids and microgrids, the new generation energy grids, characterized by a high penetration of renewable sources, distributed generation (DR) and energy storage with non-centralized control systems and high resilience, as well as ability to self-diagnosis. These grids, conceived as a granulated hierarchical structure consisting of the union of a certain number of energy islands (microgrids) [2], in presence of renewable sources, are considered complex systems with heterogeneous and stochastic dynamic behaviors. In this context, it is necessary to develop innovative paradigms for the management and control of energy flows that take into account the variability of the underlying phenomena (i.e., stochastic behavior of wind or solar sources) and the new methods of energy exchange dictated by the free market. In addition, it is necessary to equip the microgrids with Energy Management Systems (EMS) with a high capacity of automation and sensing on the state of the storage systems. In this regard, the research intends to investigate and develop new modeling methods of the new generation batteries, focusing on the state of charge and the state of health estimation techniques, characterizing the devices also from a physical point of view. The motivation lies in being able not only to have devices with given measurable performance, but also to have a lower level control over the physical phenomena inside the batteries, in order to develop BMS capable of responding to heterogeneous needs [3]. Furthermore, in the context of decision making on energy flows, it is important to have algorithms and systems for the prediction and forecasting of network variables, since this information is valuable both in the scenario analysis phase and in the optimization phase of real-time energy flows. In this context, it is necessary to overcome linear paradigms and develop algorithms capable of modeling both long-term correlations and intrinsic nonlinearities present in stochastic variables, such as network loads [4], production, etc. From a strictly methodological point of view, it is proposed to start by framing the Smart Grids as a Complex System, more precisely by defining the Smart Grid as a layered System of Systems (SoS). Furthermore, CI, a very florid discipline in the field of scientific research, provides a series of methods and technologies that allow the application of Demand Side Management (DSM) programs, the prediction of network state variables and exogenous variables of stochastic nature, such as meteorological variables. Furthermore, considering a set of interacting microgrids, together with semi-hierarchical control strategies, it is natural to turn to hybrid approaches, where optimization is performed through algorithms related to Swarm Intelligence (SI) or Evolutionary Computing (EC). These methods, in addition to the mentioned computational performances, have the prerogative of being not entirely random search, since, for example in the EC, the search in the solution space is led by an isomorphic strategy to biological natural selection proposed by Charles Darwin in 1859. In addition, given a fitness function or an objective function, such optimization algorithms turn out to be derivative-free, unlike classical optimization algorithms where knowledge of the objective function in closed form is required.

This conceptual framework allows the following tasks to be faced and developed in an organic way:

- Perform a deep state of art analysis in technical literature on IC techniques and methodologies, in order to have algorithmic references, to be used also as benchmarking of the methods being developed.
- Develop a series of methodologies for microgrids modeling and control, improving scalability and portability, both in an industrial and in a city context, as a basis for the creation of Energy Communities.
- Develop software modules and libraries for management and control of network flows by exploiting the versatility of Fuzzy Systems assisted by methods of evolutionary optimization and Swarm Intelligence [5].
- Develop DSM procedures, energy scheduling programs, peak shaving procedures, in presence of renewable sources, aiming at energy efficiency and carbon footprint reduction in production systems in pre-existing industrial

contexts (e.g. petrochemical sector), with a moderate capacity to self-production from polluting plants, and in industrial plants when adapting processes to green policies.

- Develop innovative prediction systems to forecast variables of interest (for example, physical state of a distribution network, energy price signals, load requests on microgrids and nanogrids) based on state-of-the-art deep learning technologies, to support synthesis and optimization of EMS and BMS.
- Develop physics-based models of electrochemical cells, used as an energy buffer in the management of electrical power flows.
- Study and implement the integration of DR (Solar, Wind, Biogas) with low or no environmental impact.
- Simulate a multi-agent scenario in a Multi-Microgrid context [6], in which each agent participates as a Commercial Virtual Power Player (CVPP) in a market environment, where autonomous microgrids can sell or buy energy in the case of surplus or a deficit.

[1] A. F. Zobaa and A. Vaccaro, Computational Intelligence Applications in Smart Grids: Enabling Methodologies for Proactive and Self-Organizing Power Systems. IMPERIAL COLLEGE PRESS, 2015. doi: 10.1142/p976.

[2] S. Chowdhury, Peter. Crossley, and S. P. Chowdhury, "Microgrids and active distribution networks," 2009. <http://dx.doi.org/10.1049/PBRN006E>

[3] S. X. Chen, H. B. Gooi, and M. Wang, "Sizing of energy storage for microgrids," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 142–151, 2011.

[4] F. M. Bianchi, E. De Santis, A. Rizzi, and A. Sadeghian, "Short-Term Electric Load Forecasting Using Echo State Networks and PCA Decomposition," IEEE Access, vol. 3, pp. 1931–1943, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2485943.

[5] E. De Santis, A. Sadeghian, and A. Rizzi, "A Hierarchical Genetic Optimization of a Fuzzy Logic System for Flow Control in Micro Grids," ArXiv160404789 Cs, Apr. 2016, Accessed: Apr. 20, 2016. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1604.04789>

[6] E. J. Ng and R. A. El-Shatshat, "Multi-microgrid control systems (MMCS)," Power Energy Soc. Gen. Meet. 2010 IEEE, pp. 1–6, 25, doi: 10.1109/PES.2010.5589720.