

Progetto InSITE: INtelligent energy management of Smartgrids based on IoT and edge/cloud Technologies

D1.1 - Technical requirements and architecture design

Finanziato a valere sul fondo di finanziamento della Ricerca di Sistema elettrico nazionale (Fondo RdS) Piano Triennale (PT) 2019-2021 – Bando b – progetto “InSITE - INtelligent energy management of Smartgrids based on IoT and edge/cloud Technologies”, riferimento Prog. CSEAB_00320



Contratto	Contratto di ricerca per il Progetto “INtelligent energy management of Smartgrids based on IoT and edge/cloud Technologies” [InSITE], ammesso al finanziamento con decreto del Ministero della Transizione Ecologica, 20 settembre 2021, pubblicato su G.U.R.I. n. 234 del 30 settembre 2021
Titolo	D1.1 Requisiti tecnici e di progettazione dell’architettura di progetto
Title	D1.1 Technical requirements and architecture design
Progetto	“INtelligent energy management of Smartgrids based on IoT and edge/cloud Technologies” [InSITE]
WP	WP1
Linea di Attività	LA1.1 Technical requirements and architecture design
Keywords	State of the Art, Solution Architecture, Cloud Computing, Edge Computing, Smart Grid, Energy Management System, Requirements Analysis, Business Requirements, Functional & Non-Functional Requirements Analysis
N. Pagine	142
Emesso il	31/05/2023
Elaborato da	C.Tatulli, R. Anglani, D. McNeill
Verificato da	G. Melone
Approvato da	G. Melone

Indice

1	Glossario dei termini	6
2	Introduzione	7
3	Introduzione al Cloud Solution Architecture per l'Energy Management	10
4	Stato dell'arte delle soluzioni Edge-Cloud per la gestione di SmartGrid	13
4.1	Background teorico	14
4.1.1	SmartGrid & MicroGrid	14
4.1.2	Internet of Energy Things at the Edge & Edge Computing	19
4.1.3	Energy Cloud & Cloud Computing	23
4.1.4	Energy Management System	27
4.2	Ecosistema architetturale	29
4.3	Soluzioni allo stato dell'arte	36
5	Selezione di scenari d'uso e dataset per la simulazione di utenze domestiche, industriali e del settore terziario	68
5.1	DOMESTICO: Focus sui dati selezionati per lo scenario sperimentale	68
5.1.1	GREEND: An energy consumption dataset of households in Italy and Austria	68
5.1.2	Residential Power Traces for Five Houses: The iHomeLab RAPT Dataset	71
5.1.3	Single household power profile related to grid by every 0.2sec	77
5.1.4	OPSD: Household Data in Germany	77
5.2	TERZIARIO: Focus sui dati selezionati per lo scenario sperimentale	78
5.2.1	CU-BEMS: Smart building electricity consumption and indoor environmental sensor datasets	78
5.2.2	A comparison of non-intrusive load monitoring methods for commercial and residential buildings	82

5.2.3	Electrical consumption forecasting in hospital facilities: An application case	83
5.3	INDUSTRIALE: Focus sui dati selezionati per lo scenario sperimentale . . .	86
5.3.1	Electricity DSM of small food processing company, one small paper industry and one medium-large paper producing company	86
5.3.2	Wind Turbine Power (kW) Generation Data	86
5.3.3	SCADA system dataset exploration and machine learning based forecast for wind turbines	87
5.3.4	Wind Energy Dataset from Four German Power Companies	89
5.3.5	PV Plant Power Nowcasting: A Real Case Comparative Study With an Open Access Dataset	89
6	Definizione dei requisiti per la progettazione dell'architettura InSite-Cloud	94
6.1	Analisi dei requisiti di business	94
6.2	Analisi dei requisiti funzionali	100
6.3	Analisi dei requisiti non funzionali	128
6.4	Architettura concettuale di InSite-Cloud	130
	Riferimenti bibliografici	136

1 Glossario dei termini

AI	Artificial Intelligence
AMI	Advanced Metering Infrastructure
API	Application Programming Interface
AWS	Amazon Web Services
CC	Cloud Computing
CDR	Cloud Demand Response
CGP	Google Cloud Platform
CSM	Cloud Service Model
CSP	Cloud Service Provider
D2R	Demand To Response
DL	Deep Learning
DRed	Demand Reduction
DResp	Demand Response
DSM	Demand Side Management
EC	Edge Computing
EC-CC	Edge-Cloud Computing
EM	Energy Management
EMS	Energy Management System
EnC	Energy of Cloud
FaaS	Function as a Service
GE	Green Energy
IaaS	Infrastructure as a Service
ICT	Information & Communication Technology
IDS	Intrusion Detection System
IoT	Internet of Things
IoE	Internet of Energy
IT	Information Technology
M2M	Machine To Machine
MEM	Mercato Elettrico Nazionale
MG	Micro Grid
ML	Machine Learning
SaaS	Software as a Service
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SG	SmartGrid
SM	Smart Meter
SIEM	Security Information and Event Management
SOC	Security Operations Center
vDSM	virtual Demand Side Manager

2 Introduzione

Nel tempo, il crescente e rapido sviluppo delle tecnologie nel campo dell'informazione e della comunicazione ha proiettato la società nella iperistoria, dove il benessere sociale ed individuale dipende totalmente dalle **ICT (Information & Communication Technology)** [Flo17]. Il mercato elettrico-energetico non è esente dalla travolgente ondata digitale, il cui impatto ha dato origine ad un'evoluzione mirata verso la gestione ottimale delle risorse energetiche. Difatti, grazie all'impiego delle tecnologie ICT, si è in grado di affrontare le differenti sfide e difficoltà che sussistono sulle principali fasi della filiera dell'energia.

In fase di generazione, la trasformazione delle fonti naturali in energia elettrica, sono basati principalmente sull'utilizzo dei combustibili fossili, quali petrolio, carbone e gas naturali. Essendo fonti non rinnovabili essi sono destinati ad esaurirsi nel tempo e quando sono bruciati per produrre energia essi liberano nell'aria elevate quantità di anidride carbonica e altri inquinanti, provocando danni che hanno impatto sull'ecosistema ambientale. Inoltre, il modello di produzione energetica attualmente adottato è di tipo centralizzato, ossia avviene per mano di poche ma grandi centrali elettriche. In fase di trasmissione, i flussi di energia viaggiano secondo una logica unidirezionale, secondo un processo in cui il gestore fornisce l'energia elettrica agli utenti ed essi la consumano in modo passivo. Infine in fase di distribuzione, la domanda dell'energia elettrica è in continuo aumento, sia in virtù delle abitudini comportamentali dei consumatori sia dai molteplici fattori scaturiti da avvenimenti climatici, bellici, politici e sociali.

L'attuale sistema di distribuzione non è dunque in grado di sostenere in maniera efficace le esigenze degli utenti finali e ciò provoca una serie di disagi quali guasti alla rete, black-out, spreco e dispersione di energia. Risulta evidente come un nuovo cambio di paradigma possa proiettare il settore energetico verso uno sviluppo sostenibile in grado di risolvere le sfide indicate.

La transizione ecologica punta a nuovi modi per produrre e distribuire energia. Nell'ottica della **Green Energy (GE)**, l'impiego di risorse rinnovabili in sinergia con le tecnologie ICT permette di avviare una strategia di decarbonizzazione e decentralizzazione che possa limitare le emissioni di carbonio in fase di generazione ed avviare un processo di bilanciamento tra la domanda degli utenti finali e i servizi offerti dai fornitori in fase di distribuzione [BpRN21]. La modernizzazione del sistema elettrico passa attraverso l'applicazione delle **SmartGrid (SG)**, che rappresentano una rivoluzione nel mondo dell'energia elettrica e delle telecomunicazioni [NID+16]. Con SG si intende un modello concettuale che, grazie alle tecnologie digitali, rende la rete elettrica intelligente e permette di gestire e di monitorare in tempo reale, la distribuzione di energia da tutte le fonti di produzione e, di soddisfare le diverse richieste di elettricità degli utenti, siano essi produttori o consumatori. Inoltre, le SG aiutano ad allocare correttamente l'energia prodotta in eccesso o in difetto in modo da garantire un bilanciamento per evitare sprechi energetici e avere sempre a disposizione la giusta quantità

di energia per alimentare la propria casa o attività [Lab19]. In figura 1 si mostra il confronto tra le grid tradizionali e le SG.

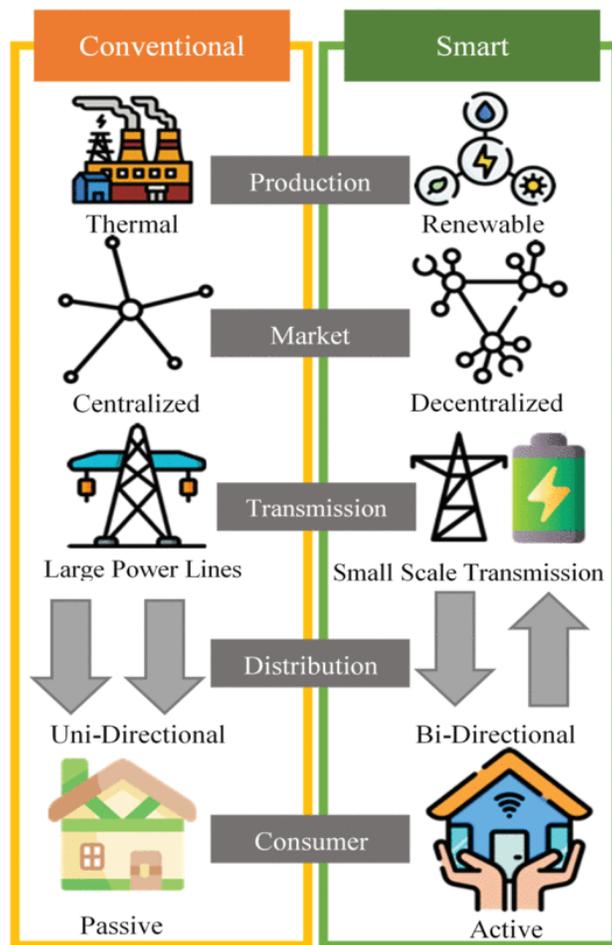


Figura 1: Traditional Grid vs SmartGrid

In un ambiente SG, sono implementati diversi dispositivi come Smart Meter, sottostazioni, asset che generano una grande quantità di dati. Il controllo delle SG è tipicamente affidato a sistemi **SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)**, ossia server dedicati per la supervisione e acquisizione dati utilizzati in fase di distribuzione. Lo stato dell'arte ha dimostrato che tali sistemi rendono inefficiente l'esercizio delle SG in quanto:

1. Le logiche di controllo cablate e le tarature manuali difficilmente possono rispondere alle variazioni delle risorse energetiche presenti in una SG. In particolare le fonti rinnovabili, caratterizzati da un comportamento imprevedibile.

2. Difficoltà nell'eseguire attività di ottimizzazione e previsione di una SG che necessitano una risoluzione a brevissimo termine.
3. Bassa resilienza su tutte le situazioni che comportano interruzioni sulla rete elettrica quali guasti o black-out.
4. Non adeguati e poco protetti in termini di cybersecurity.

La proposta di **InSite** è la progettazione e lo sviluppo di un **Energy Management System (EMS)** che, sfruttando le potenzialità del **Edge-Cloud Computing (EC-CC)** è in grado di superare i limiti derivanti dal server SCADA e mira ad affrontare le sfide attualmente più rilevanti per un miglioramento dello stato dell'arte per l'esercizio ottimale, la resilienza e sicurezza delle SG.

L'obiettivo della linea di attività, indicata come LA1.1, è quello di elicitare e definire i requisiti per la progettazione dell'architettura di sistema e tecnica dell'infrastruttura Cloud, denominata **InSite-Cloud**. La LA1.1 sarà suddivisa nelle seguenti attività:

1. Introduzione alle Solution Architecture con focus sull'ambiente Cloud. L'obiettivo di questa sezione è fornire al lettore le nozioni principali su che cosa sia una Solution Architecture, indicandone le caratteristiche generali e i benefici che ne derivano dalla corretta progettazione. Successivamente, si descrivono le tipologie di Solution Architecture presenti nell'ambito dell'ingegneria del software, in particolar modo le Cloud Solution Architecture, mostrando le differenze che contraddistinguono un'architettura rispetto ad un'altra.
2. Raccolta stato dell'arte delle Cloud Solution Architecture per applicazioni in Cloud in ambito SG. L'obiettivo di questa sezione è quello di illustrare tutte le risultanze emerse dallo studio della letteratura scientifica nel caso specifico di SG gestite in EC-CC.
3. Definizione degli scenari e dei casi d'uso in ambito SG. L'obiettivo di questa sezione è quello di descrivere in dettaglio alcuni casi d'uso rilevanti relativamente al mondo domestico, terziario ed industriale.
4. Definizione dei requisiti di business, funzionali e non funzionali per la progettazione dell'architettura del sistema InSite-Cloud.

3 Introduzione al Cloud Solution Architecture per l'Energy Management

Le SG si basano sull'utilizzo e sull'integrazione di tecnologie informatiche avanzate, in particolar modo il **Cloud Computing (CC)** per eseguire operazioni di elaborazione ed archiviazione dati [Bag20]. Di fondamentale importanza assume dunque la progettazione di una **Cloud Solution Architecture**.

Con Solution Architecture si intende un modello concettuale dove si descrive in maniera formale l'intera struttura del sistema informativo, considerata di natura complessa per la sua dimensione e funzionalità, dandone una visione generale ma completa. Nella progettazione di una Solution Architecture si definiscono quali sono le caratteristiche di base, sfruttando i principi progettuali fondamentali e pattern architetturali, e come il sistema deve interagire con l'ecosistema tecnologico, garantendo una soluzione sicura, affidabile, performante e conforme alle politiche aziendali. Quindi, non ci si focalizza solo sulla soluzione software e hardware ma, ci si concentra anche sugli aspetti procedurali ed organizzativi, quali raccolta dei requisiti funzionali e non funzionali, scelta delle risorse operative, pianificazione degli obiettivi con relative scadenze, ed infine amministrazione del budget. [SS22]

Di fatto, una Solution Architecture ben progettata mette in risalto una serie di aspetti quali:

1. Definizione degli obiettivi strategici che la soluzione intende risolvere, da cui ricavare benefici e risultati attesi.
2. Definizione chiara e concisa del ciclo di vita architetturale, individuando quali sono i componenti o moduli della soluzione progettata, indicandone funzionalità struttura ed interazione.
3. Definizione dei requisiti funzionali e non funzionali e gestione dei vincoli progettuali.
4. Definizione di regole standard e documentazione comprensibile sia dagli utenti che dal personale tecnico. Le documentazioni è necessario che siano dettagliate ed in costante aggiornamento.
5. Selezione delle miglior tecnologie, in termini di costi ed innovazione.
6. Corretto bilanciamento tra costi e budget a disposizione
7. Linee guida per la definizione delle priorità.

Una Solution Architecture favorisce una metodologia sia strategica che transazionale, ossia l'attitudine nel realizzare un'architettura che sappia rimanere robusta e flessibile in caso di cambiamenti nei requisiti e, allo stesso tempo, adattabile dinanzi a nuove evolutive.

Genericamente, è possibile categorizzare una Solution Architecture in differenti tipologie a

seconda della visione progettuale e dai compiti che essa è in grado di svolgere. Pertanto, tali distinzioni si definiscono secondo una gerarchia piramidale, come mostrato in figura 2.

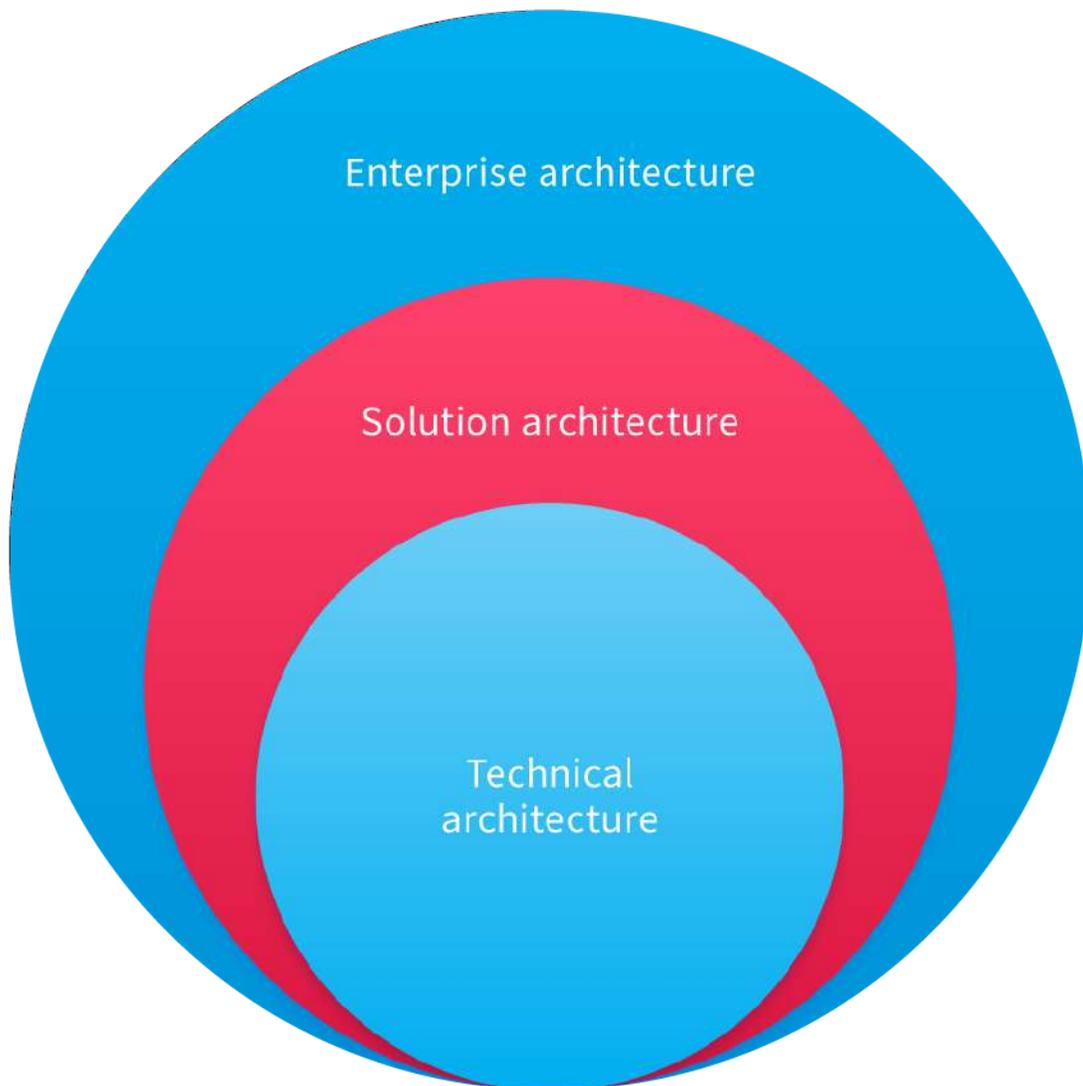


Figura 2: Tipologie di architetture progettuali [Nix20]

Si tenga conto che in letteratura sono presenti più gerarchie granulari, con l'inclusione di architetture intermedie come la **Business Architecture**, ma la struttura presente in figura è considerata la visione più rappresentativa. In linea del tutto teorica, dalla rappresentazione piramidale si evince che una Solution Architecture è posta ad un livello centrale poiché agisce da collante tra l'**Enterprise Architecture** e la **Technical Architecture** o **Software**

Architecture. Inoltre, è possibile affermare implicitamente che una Solution Architecture può considerarsi di fatto una Technical Architecture, la cui soluzione funzionale è tradotta in una soluzione tecnica.

Le Solution Architecture devono rispettare i criteri di governance, quali regole di policy, standard procedurali ed integrativi definiti dall'Enterprise Architecture che agiscono a livello aziendale e hanno il compito di supervisionare il corretto funzionamento delle Solution Architecture. I requisiti di business, funzionali e non funzionali definiti in fase di progettazione della Solution Architecture prendono vita grazie all'implementazione delle singoli componenti, mediante l'uso delle tecnologie individuate e selezionate anche esse in fase di progettazione. È compito delle Technical Architecture di concentrarsi sugli aspetti tecnici e infrastrutturali di un sistema, gestendo così l'intero ciclo di vita dei singoli applicativi, attraverso appropriate good practises e tecniche di ingegneria del software secondo una determinata metodologia quali Agile o Waterfall.

Per esemplificare il concetto e facendo un'analogia con il mondo dell'edilizia, l'Enterprise Architecture rappresenta il piano urbanistico, mentre una Solution Architecture corrisponde all'edificio progettato secondo le norme stabilite dal Piano Urbanistico. Infine le Technical Architecture fanno riferimento all'atto pratico di costruzione dell'edificio [Cuz13].

Le Technical Architecture a loro volta possono essere suddivise a secondo del dominio tecnico per le quali sono specializzate, sebbene la maggior parte di esse sono sovrapponibili in quanto agiscono su ambiti aventi caratteristiche in comune. Tali ambiti ricadono in discipline dell'IT (Information Technology) altamente specializzanti quali Cloud Computing, Big Data Analytics, Machine Learning, CyberSecurity, DevOps, da cui derivano le rispettive architetture quali Cloud Architecture, Big Data Architecture, Machine learning Architecture, Security Architecture e DevOps Architecture.

In particolar modo, le Solution Architecture in Cloud, indicate anche con il termine di **Cloud Solution Architecture o brevemente Cloud Architecture**, stanno riscuotendo un'enorme importanza tra le aziende e numerose sono coloro che tendono ad appropiarsi verso questa tecnologia.

Le Cloud Architecture fanno riferimento alla progettazione ed all'implementazione di Solution Architecture che agiscono direttamente in un'ambiente Cloud ed usufruiscono i vantaggi e i benefici tipiche del Cloud Computing. Ad esempio è possibile erogare da remoto risorse informatiche, chiamati servizi, in grado di soddisfare esigenze di calcolo computazionale su server o on-demand serverless, archiviazione in Data Lake e/o DataWarehouse, Database, analisi Big Data, Machine Learning, Internet of Things, CyberSecurity e molto altro.

Maggiori dettagli verranno presentati sia nel paragrafo dedicato allo stato dell'arte e sia nella LA1.2 *"Design of cloud infrastructure"*.

4 Stato dell'arte delle soluzioni Edge-Cloud per la gestione di SmartGrid

La crescente domanda di elettricità per le applicazioni e i processi residenziali, commerciali e industriali ha reso necessario lo sviluppo e l'implementazione di strumenti avanzati di **Energy Management (EM)** per affrontare il problema della limitatezza delle risorse a disposizione. Questa sfida è tanto maggiore se si considerano ulteriori aspetti chiave: in primis la possibilità che le reti pubbliche non siano in grado di soddisfare in futuro l'evoluzione della domanda di energia; in secondo luogo, l'adozione di impianti di produzione di energia da parte di privati che trasformano il consumatore in un nuovo attore, detto **prosumer**, in grado di generare e immettere energia nella rete. Tale scenario, caratterizzato da una significativa variabilità di domanda e offerta e da una emergente complessità dei fenomeni, in particolar modo nel caso delle risorse rinnovabili, richiede l'utilizzo di tecnologie innovative per una gestione degli asset che garantisca da un lato l'efficienza dei processi e dall'altra la robustezza e la continuità operativa del sistema.

Una visione olistica dell'EM in ambito SG richiede pertanto due abilità essenziali: (1) gestione dinamica degli asset in risposta ai cambiamenti delle esigenze di carico, delle caratteristiche del mercato e dei fattori esogeni che influenzano la produzione rinnovabile non programmabile; (2) gestione avanzata delle informazioni per abilitare gli algoritmi e i processi alla base dell'asset management, per consentire l'accesso, l'esplorazione e l'analisi dei dati e per garantire la sicurezza e la privacy del sistema.

L'integrazione delle **tecnologie ICT EC-CC** in un contesto EM, assicura la possibilità di amministrare in maniera efficace le SG e di adottare processi decisionali accurati su come utilizzare diligentemente l'energia al fine di garantire benefici su tutto il panorama del settore energetico.

Attraverso la rassegna allo stato dell'arte si mostrerà una sezione dedicata al background teorico, ponendo in evidenza quali sono le principali tecnologie abilitanti sia fisiche che digitali presenti nel dominio energetico e come essi interagiscono tra di loro. Ciò permetterà di definire un ecosistema architetturale basandosi su modelli concettuali presenti in letteratura. Infine, si propone una panoramica sullo stato dell'arte relativo all'**Energy Cloud (EnC)**, nello specifico sulle soluzioni architetturali EC-CC, elencando alcuni tra i principali progetti realizzati in quest'ambito e i paper maggiormente rilevanti in termini di innovazione tecnologica e risultati raggiunti.

4.1 Background teorico

4.1.1 SmartGrid & MicroGrid

Con il termine **SmartGrid** si intende un sistema di alimentazione automatizzato che utilizza tecnologie digitali avanzate per monitorare e controllare la fornitura di elettricità ed è in grado di fornire in maniera efficace energia in tutte le fasi di comunicazione, rendendo la rete elettrica intelligente. Le caratteristiche che contraddistinguono una SG fanno sì che la loro applicazione possa contribuire all'evoluzione del sistema elettrico tradizionale. Le SG introducono una comunicazione bi-direzionale nell'intera supply chain, come indicato in figura 3, in cui viaggia sia un flusso elettrico che informativo [DYCC15].

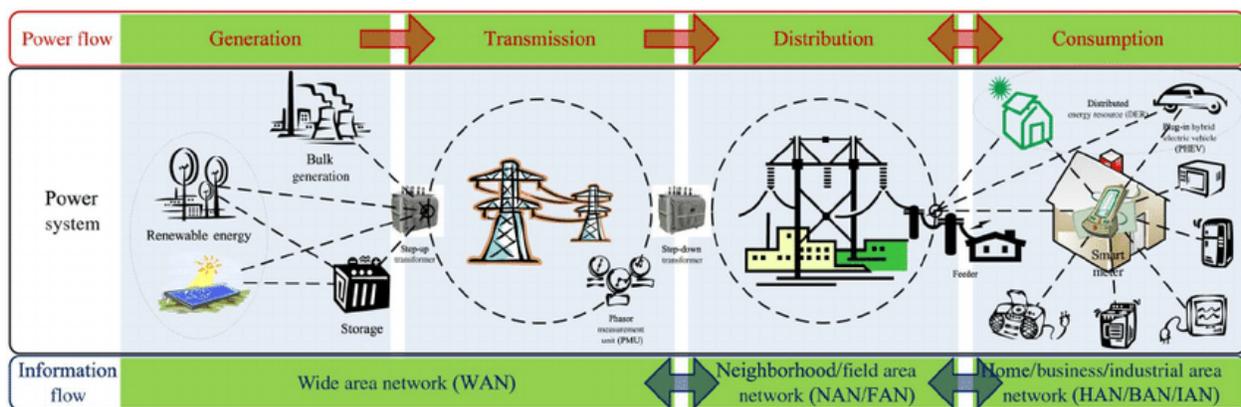


Figura 3: Comunicazione bidirezionale nelle SG

Secondo tale metodologia, il flusso di energia non veicola più su una rete centralizzata, ossia verso un'unica stazione centrale, ma bensì su una rete decentralizzata dove anche i consumatori avranno un ruolo attivo durante il flusso comunicativo. In questo modo, i consumatori divenendo dei produttori di energia che agiscono in piccola scala, assumono il ruolo di prosumer, ovvero un produttore/consumatore che produce e consuma la propria energia.

Lo scambio di energia e la comunicazione a due vie favorisce il bilanciamento tra la domanda e offerta, come indicato in figura 4. Con le SG è possibile rilevare automaticamente tali cambiamenti ed agire in maniera reattiva per soddisfare le esigenze dei consumatori, evitando sprechi e consumi spropositati di energia. Grazie alla capacità interattiva bidirezionale, permette il re-indirizzamento automatico quando le apparecchiature si guastano o si verificano interruzioni con conseguente miglioramento dell'affidabilità e della resilienza sulla rete elettrica.

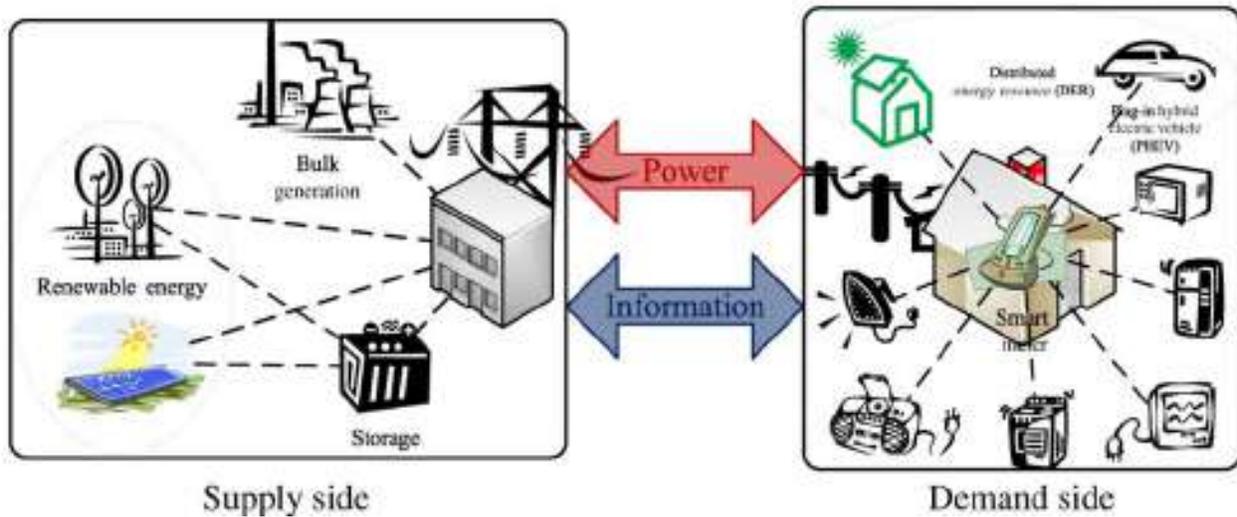


Figura 4: Demand Response in SG

Le SG facilitano anche l'integrazione di fonti energetiche rinnovabili, che catturano e convertono l'energia da fonti naturali come il sole, il vento e l'acqua.

Alcuni esempi di sistemi di energia rinnovabile includono:

- **Pannelli solari:** catturano e convertono la luce solare in elettricità.
- **Turbine eoliche:** catturano e convertono l'energia eolica in elettricità.
- **Dighe idroelettriche:** catturano e convertono l'energia dell'acqua che scorre in elettricità.
- **Biomassa:** cattura e trasforma l'energia dalla materia organica in elettricità.

Le sfide dell'utilizzo di energia rinnovabile includono:

- **Costi iniziali elevati:** i sistemi di energia rinnovabile hanno spesso costi iniziali elevati, che li rendono difficili da implementare in alcune aree.
- **Fonti energetiche variabili:** le fonti energetiche rinnovabili non sono sempre costanti, il che significa che la produzione di energia può fluttuare.
- **Integrazione della rete:** i sistemi di energia rinnovabile devono essere integrati nella rete elettrica esistente, il che può rappresentare una sfida in alcune aree.
- **Accumulo di energia:** l'energia rinnovabile deve essere immagazzinata quando non viene utilizzata, il che può essere costoso.

La variabilità delle risorse rinnovabili può influenzare il loro utilizzo in diversi modi. Esse non sono sempre disponibili, il che significa che potrebbero esserci momenti in cui l'energia prodotta da fonti rinnovabili non può essere utilizzata, e ciò può costituire un problema soprattutto nelle ore di punta dove è richiesta maggior domanda energetica. Inoltre, la loro produzione non essendo costante, può fluttuare in modo significativo a seconda dell'ora del giorno, del tempo e da fattori atmosferici. Questa variabilità rende difficile la previsione sulla quantità di energia che sarà disponibile in un secondo momento, e di conseguenza, la pianificazione e la gestione del consumo energetico.

In tal contesto, le SG possono aiutare a mitigare le sfide dell'utilizzo di energia rinnovabile in diversi modi. In primo luogo, le SG possono aiutare a ottimizzare l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili nella rete elettrica esistente e gestirle efficacemente, anche in case di fluttuazioni. Le SG possono aiutare a ottimizzare l'uso dell'energia rinnovabile regolando automaticamente i livelli di consumo di energia per far corrispondere domanda e offerta.

Infine, le SG possono anche aiutare a ridurre i costi di stoccaggio dell'energia consentendo di rivendere l'energia rinnovabile alla rete quando non viene utilizzata. Infine, lo stoccaggio dell'energia è importante nell'integrazione delle fonti di energia rinnovabile perché aiuta a garantire che l'energia rinnovabile sia disponibile quando è necessaria. Le fonti di energia rinnovabile come il solare e il vento possono essere intermittenti, nel senso che sono disponibili solo quando il sole splende o soffia il vento. Lo stoccaggio di energia consente di immagazzinare e utilizzare l'energia rinnovabile quando non viene prodotta, consentendone un utilizzo più coerente.

Da un punto di vista infrastrutturale, una SG è composta da quattro componenti principali: **un sistema di generazione, trasmissione, distribuzione di energia e consumo di energia**, come illustrato in figura 5. [Gou22]

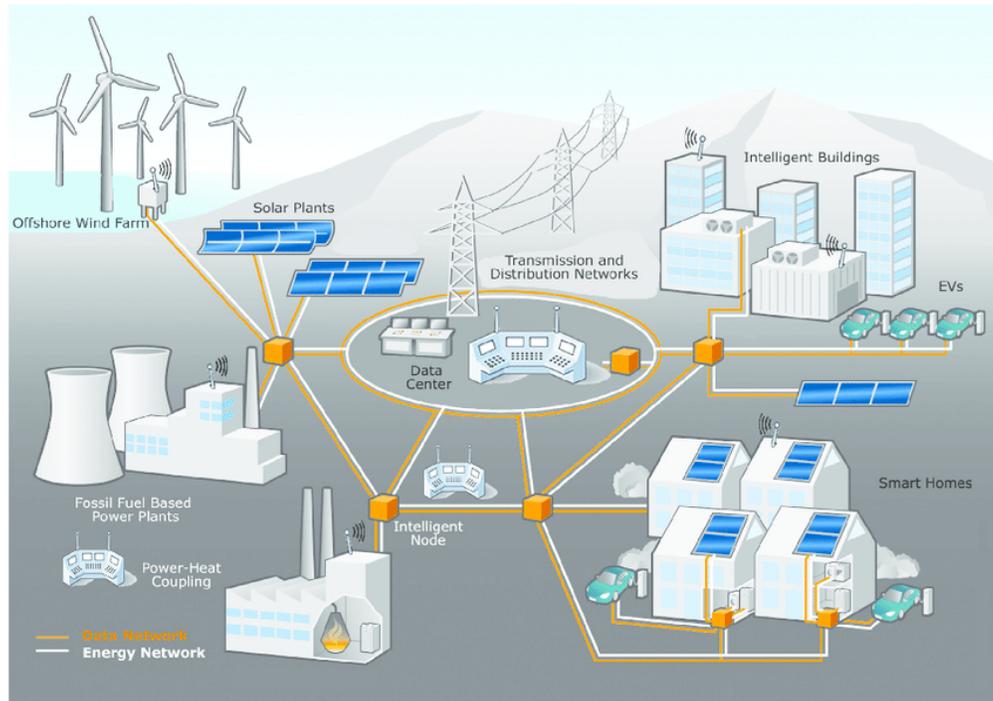


Figura 5: Architettura SG

La componente di generazione è costituita dalle tradizionali centrali elettriche mentre la componente di trasmissione è responsabile della fornitura di energia alla componente di distribuzione, ossia i clienti consumatori.

In fase di consumo, è importante che all'interno della SG ci siano metodi di ottimizzazione in grado di controllare il consumo di elettricità dei clienti [MKSO13],[VVR+10].

Al fine di raggiungere tali obiettivi, i **contatori intelligenti (Smart Meter)** e le **Micro-Grid (MG)** rappresentano i principali componenti ad essere incorporati nell'architettura della SG.

La misurazione intelligente è una delle più utili tecnologie emergenti utilizzate nelle SG per ottenere informazioni sul consumo energetico dei clienti in tempo reale. È anche in grado di controllare l'infrastruttura di misurazione avanzata (**AMI advanced metering infrastructure**) [Har08].

L'AMI viene supportata da un meccanismo di comunicazione bidirezionale al fine di ottenere da remoto il consumo energetico dei clienti in tempo reale.

I Smart Meter sono in grado di registrare il consumo di energia da parte dei clienti, con un conseguente beneficio sia del cliente che dei servizi pubblici. Il singolo cliente è in grado di stimare il proprio consumo energetico durante l'intera giornata al fine di ottimizzare i costi, mentre l'ente è in grado di mantenere il monitoraggio in tempo reale per gestire la curva di

domanda-offerta.

Per quanto concerne le MG, esse offrono una valida soluzione praticabile per l'integrazione nelle reti di distribuzione delle risorse energetiche distribuite e, in particolare, delle fonti energetiche rinnovabili non programmabili. Fondamentalmente, una MG può essere definita come un'area delimitata elettricamente della rete di distribuzione che aggrega fonti locali di generazione distribuita insieme a dispositivi di accumulo di energia e carichi controllabili in modo da formare un sistema energetico autosufficiente. Pertanto, se adeguatamente gestita, essa può agire come un'unica entità controllabile operante in parallelo con la rete pubblica o in modalità in isola [CDM20a]. La differenza che intercorre tra SG e MG è principalmente sul raggio d'azione in quanto le SG agiscono su larga scala mentre una MG offrono una soluzione più localizzata e distribuita, fornendo autonomia e resilienza alle comunità e alle strutture locali. Ulteriori distinzioni sono riepilogati nella tabella sottostante.

Caratteristiche	MicroGrid	SmartGrid
Utilizzo	Rete elettrica localizzata su piccola scala	Rete elettrica potenziata digitalmente su larga scala.
Indipendenza	Gestione autonoma	Parte integrante della rete elettrica principale
Raggio d'azione	Collega aree o comunità di piccola dimensione	Collega vaste aree
Controllo	Autosufficiente con sistemi di controllo locali	Controllo e gestione centralizzata con comunicazione bidirezionale continua
Fonti energetiche	Risorse energetiche distribuite, comprese le fonti rinnovabili	Integrazione delle risorse energetiche nella rete
Area applicativa	Aree remote, campus, zone militari	Aree urbane e rurali

4.1.2 Internet of Energy Things at the Edge & Edge Computing

L'Internet of Energy (IoE) può essere visto come una estensione del concetto di SG. Il termine è stato coniato per la prima volta da Jeremy Rifkin nel suo libro *“Third Industrial Revolution”* del 2008 [Rif11] e si riferisce a una soluzione in stile Internet per l'elettricità basata sul flusso bidirezionale di informazioni e potenza [CY13].

Lo scopo principale dell'IoE è quello di distribuire potenza ed energia attraverso la rete e consentire la condivisione di informazioni tra tutti i dispositivi connessi ad essa, ed è indirizzato alla gestione dei dati in tempo reale e alla loro sicurezza [MASA20], [GD20].

La Figura 6 mostra una rete interconnessa basata su IoE, in ambito SG, comprendente carichi, unità di misurazione di energia, dispositivi di accumulo dell'energia ed infine sistemi di distribuzione automatizzata e centralizzata.

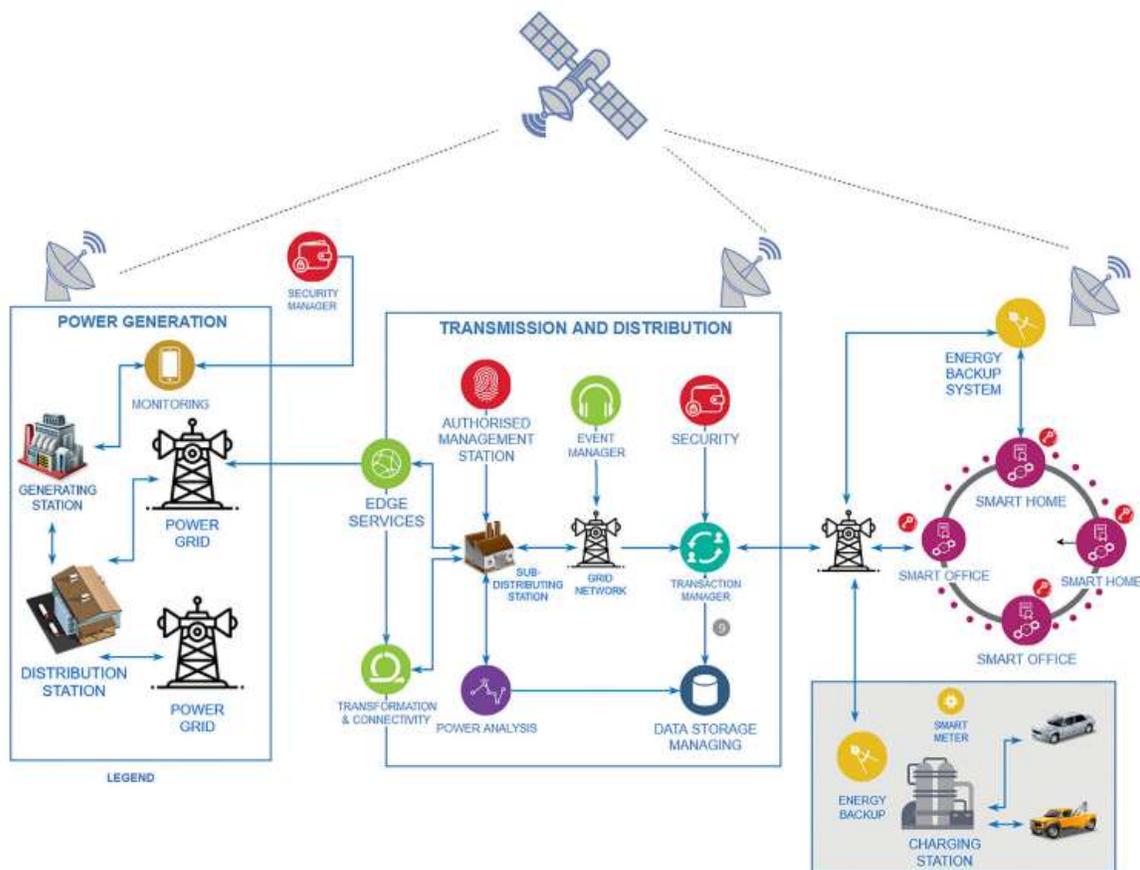


Figura 6: Rete Interconnessa basata su IoE

L'implementazione del concetto di IoE è strettamente correlata con la tematica dell'**Edge Computing (EC)**, cui dettagli verranno approfonditi nella LA 2.3 *"Development of the IoT-EMS/Cloud platform interface module"*.

Con EC o **Multi-Access Computing (MEC)**, si riferisce al processamento dei dati vicino - a ridosso, dunque on-edge - all'origine dei dati. Tale metodologia è in contrapposizione rispetto ad una elaborazione centralizzata dei dati. Qui il calcolo viene eseguito in gran parte, o completamente, su dispositivi distribuiti noti come dispositivi intelligenti o dispositivi edge. Il paradigma dell'EC, prevede un utilizzo efficace delle risorse che potrebbero anche non essere costantemente connesse ad una rete, quali ad esempio laptop, smartphone, tablet o sensori. Come mostra la figura Figura 7, i principali componenti dell'EC sono:

- **Edge device:** ogni dispositivo di generazione dati ai margini della rete funziona come un dispositivo edge. Le possibili fonti dati possono essere sensori, macchine, veicoli o dispositivi intelligenti in un ambiente IoT, come lavatrici, rilevatori di incendio, lampadine o termostati del radiatore.
- **Edge gateway:** un gateway edge è un computer localizzato tra due reti. Negli ambienti IoT, i gateway edge sono utilizzati come nodi tra l'IoT e una rete core. Quest'ultima è costituita da potenti router che offrono una potenza di calcolo sufficiente per la pre-elaborazione dei dati provenienti dalle "cose".
- **Edge network o micro data center:** Le nuove tecnologie di rete hanno dato vita alla rete edge o micro data center, che può essere visto come un Cloud locale con cui i dispositivi possono comunicare. La rete edge riduce la distanza che i dati provenienti dai dispositivi devono percorrere e quindi diminuisce la latenza e la larghezza di banda derivante dall'avvento del 5G. Questa componente offre anche maggiori capacità analitiche e più spazio di archiviazione per i modelli.
- **MultiCloud ibrido aziendale:** Questa componente offre il classico modello di archiviazione e gestione a livello aziendale, la gestione dei dispositivi e soprattutto analisi e dashboard a livello aziendale. Può essere ospitata nel Cloud o in un data center locale.

Pertanto l'EC copre una vasta gamma di tecnologie tra cui reti di sensori wireless, reti ed elaborazione ad hoc peer-to-peer distribuite, classificabili anche come **Cloud/Fog Computing locale**, mobile EC, archiviazione e recupero di dati distribuiti, servizi Cloud remoti, realtà aumentata e altro ancora. L'EC si basa essenzialmente sul concetto di avvicinamento del calcolo e dello storage alla sorgente dati, spostando alcune delle funzionalità di elaborazione del Cloud vicino alla sorgente minimizzando il più possibile la latenza. L'EC tuttavia non deve essere visto come una sostituzione, ma come un supplemento al Cloud, in quanto fornisce le seguenti funzionalità:

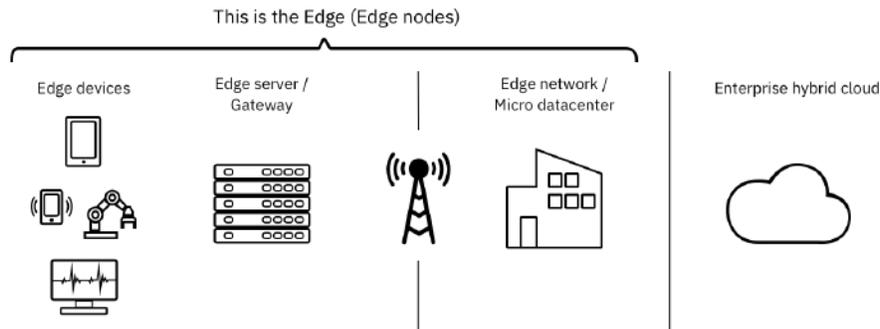


Figura 7: Edge computing - Componenti

- **Raccolta e aggregazione dei dati:** mentre le origini dati nelle architetture Cloud tradizionali trasferiscono tutti i dati in un data center di base nel Cloud per l'analisi centrale, l'EC si basa sulla raccolta dei dati vicino all'origine dei dati. A tal fine, i microcontrolli vengono utilizzati direttamente nel dispositivo o in altri gateway, ad esempio "router intelligenti". Questi combinano i dati di dispositivi diversi e consentono la pre-elaborazione e la selezione di un set di dati. Il caricamento nel Cloud avviene solo se le informazioni non possono essere valutate localmente, sono necessarie analisi dettagliate o i dati devono essere archiviati.
- **Archiviazione locale dei dati:** l'EC è particolarmente utile quando i dati a banda larga devono essere forniti localmente. Quando il quantitativo dei dati è elevato, la trasmissione in tempo reale dal data center del Cloud può essere molto difficile. Questo problema può essere aggirato memorizzando i dati corrispondenti in modo decentrato ai margini della rete. In uno scenario come questo, i gateway edge fungono da server di replica in una rete di distribuzione del contenuto.
- **Monitoraggio supportato dall'Artificial Intelligence (AI):** le unità di elaborazione decentralizzate di un ambiente di EC ricevono dati, li valutano e successivamente consentono il monitoraggio continuo dei dispositivi collegati. In combinazione con algoritmi di Machine Learning, è possibile il monitoraggio dello stato in tempo reale, ad esempio per controllare e ottimizzare i processi nelle fabbriche intelligenti.
- **Comunicazione Machine to Machine (M2M):** indica l'insieme delle tecnologie e i servizi che permettono il trasferimento automatico delle informazioni da macchina a macchina con limitata o nessuna interazione umana, stando alla definizione fornita da AGCOM nel documento [AGC15].

Con la crescente quantità di dispositivi terminali, molte aziende IT stanno sviluppando piattaforme EC per gestire enormi quantità di dati edge.

In 2006, Amazon lancia **Amazon Web Services (AWS) Greengrass** [HS19], e nel 2018 è stato rivisto sulla base del Machine Learning per adattarsi ai vari scenari operativi dei dispositivi periferici. Nel 2017, Microsoft ha lanciato **Azure IoT Edge** [Sin17], che ha supportato la containerizzazione del carico CC e può essere installato su gateway intelligenti. Nel 2018, Google ha lanciato **Cloud IoT Edge** [Bas19], che ha contribuito allo sviluppo dell'AI a livello edge.

4.1.3 Energy Cloud & Cloud Computing

Per **Energy Cloud (EnC)** si intende una infrastruttura online per la gestione in remoto dell'**Energy Management System** in grado di erogare specifici servizi tra cui lo storage e lo scambio di dati con le componenti IoE-Edge, il provisioning dinamico delle risorse computazionali e l'esposizione di applicativi per l'interfaccia utente. Anche il concetto di EnC è in forte relazione con il Cloud Computing, altresì dettagliato nella LA1.2 "*Design of Cloud infrastructure*".

Il **Cloud Computing (CC)** si riferisce alla pratica di utilizzare server remoti ospitati su Internet per archiviare, gestire ed elaborare dati, invece di fare affidamento su un server locale o un personal computer. Implica la fornitura di servizi informatici, tra cui storage, database, applicazioni software, networking e potenza di elaborazione, su Internet. Il modello CC offre in genere quattro tipi principali di servizi, detti **CSM (Cloud Service Model)**:

- **Infrastructure as a Service (IaaS)**: fornisce risorse di elaborazione virtualizzate, come macchine virtuali, storage e reti, su cui gli utenti possono distribuire ed eseguire il proprio software e le proprie applicazioni.
- **Platform as a Service (PaaS)**: PaaS offre un livello di astrazione più avanzato, fornendo una piattaforma con risorse di calcolo e strumenti di sviluppo preconfigurati. Consente agli sviluppatori di concentrarsi sulla creazione e distribuzione di applicazioni senza preoccuparsi dei dettagli dell'infrastruttura sottostante.
- **Software as a Service (SaaS)**: SaaS fornisce applicazioni software pronte per l'uso a cui si accede tramite Internet. Gli utenti possono utilizzare queste applicazioni senza doverle installare o gestire localmente.
- **Function as a Service (FaaS) o Serverless**: FaaS, è un tipo di servizio di Cloud computing che consente gli utenti possono accedere e utilizzare le risorse di elaborazione su richiesta, pagando solo per le risorse effettivamente consumate, in modo simile a un modello di fatturazione delle utenze. Ciò elimina la necessità per le organizzazioni o gli individui di investire e mantenere la propria infrastruttura fisica, come server e data center.

Il Cloud Computing offre numerosi vantaggi, tra cui:

- **Scalabilità**: i servizi Cloud possono facilmente scalare verso l'alto o verso il basso in base alla domanda degli utenti, consentendo alle organizzazioni di adattare rapidamente le proprie risorse di elaborazione in base alle esigenze.
- **Efficienza dei costi**: gli utenti pagano per le risorse che utilizzano, eliminando la necessità di investimenti iniziali nell'hardware e riducendo i costi di manutenzione.

- **Affidabilità e disponibilità:** i provider di servizi Cloud in genere offrono un'infrastruttura solida e misure di ridondanza, garantendo un'elevata disponibilità e riducendo al minimo i tempi di inattività.
- **Flessibilità e accessibilità:** gli utenti possono accedere ai servizi Cloud da qualsiasi luogo con una connessione Internet, utilizzando una varietà di dispositivi.
- **Collaborazione e condivisione:** il CC consente una facile collaborazione e condivisione dei dati tra gli utenti, facilitando il lavoro di squadra e la produttività.

Il Cloud può anche essere classificato in base ai modelli di distribuzione, in: **private, public, community e hybrid** [MG11]:

- **Private:** il Cloud è di proprietà di una organizzazione privata e le informazioni vengono condivise solo all'interno dell'organizzazione. Lo scopo di questo tipo di Cloud è quella di gestire le proprie applicazioni aziendali.
- **Public:** il Cloud pubblico invece è di proprietà di un fornitore di servizi e utilizzato dal pubblico per le sue attività.
- **Community:** è simile al Cloud privato con alcune funzionalità aggiuntive e fornisce servizi a un gruppo di organizzazioni che hanno requisiti simili tra loro.
- **Hybrid:** rappresenta l'estensione del Cloud computing con tecniche per il private, il public e il community Cloud. I Cloud privati, pubblici e comunitari sono integrati insieme al fine di eseguire diversi compiti che sono in grado di gestire alle esigenze del privato, del pubblico e della comunità organizzazioni

La figura 8 fornisce una panoramica della struttura CC in base a quanto appena espresso.

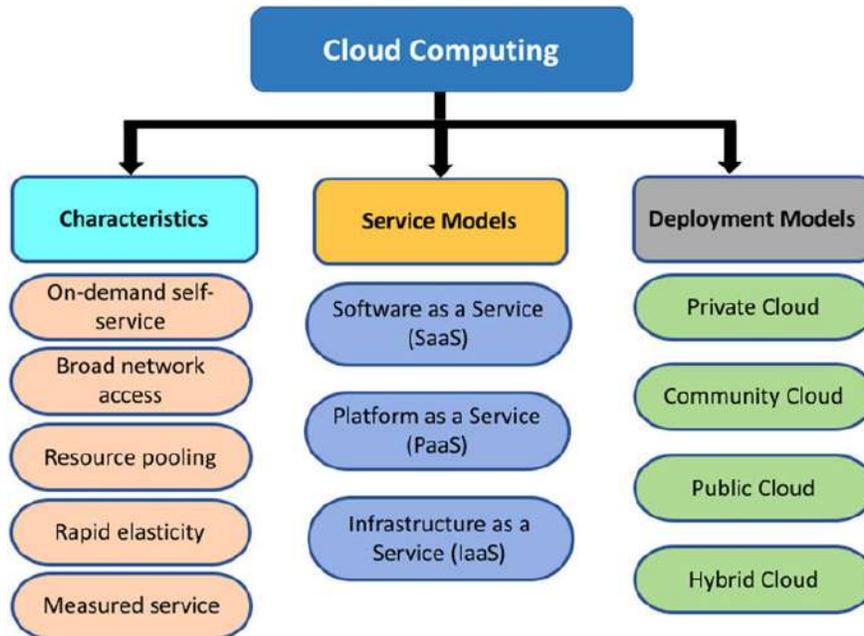


Figura 8: Struttura del Cloud Computing

La figura 9 fornisce una panoramica della struttura di una SG con e senza Cloud e quanto sia fondamentale adottarla.

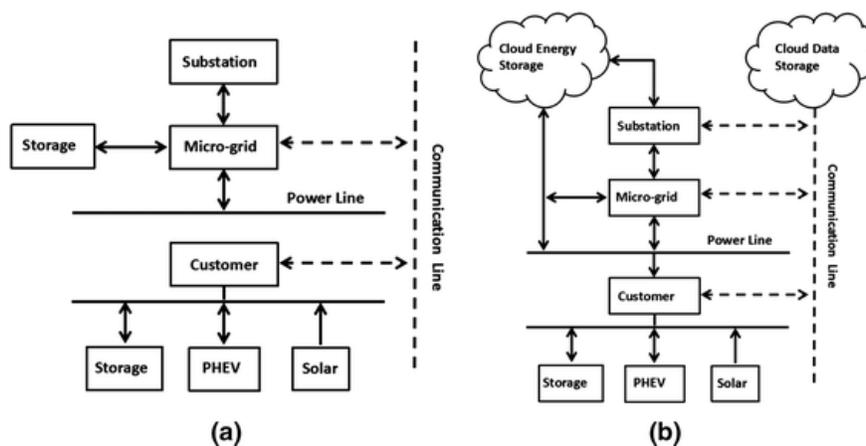


Figura 9: Struttura concettuale di una SG con e senza Cloud

Nella parte della figura a sinistra (senza Cloud), tutte le risorse energetiche (sottostazioni, MG e consumatori), possono comunicare tra di loro tramite una rete di comunicazione.

Una soluzione SG senza l'apporto di una infrastruttura Cloud si presenta tipicamente come un'architettura di tipo Master-Slave, dove il fornitore di servizi agisce come master e i clienti agiscono come slave. Sebbene si adatta particolarmente in applicazioni di Demand Response e Smart Pricing ma al contempo porta con sé una serie di limiti e problematiche, [KKYT11], [LL12], [YCH⁺12], [RA11], [JLL12], [SAK⁺13].

Un approccio convenzionale di tal tipo, è maggiormente esposta sia ad attacchi informatici, che a guasti che possono compromettere l'intera infrastruttura. Da un punto di vista del provisioning delle risorse, un server fisico può contenere un numero massimo di clienti e pertanto non è particolarmente scalabile ed elastico. Ciò comporta una potenza computazionale ed un limitato lo spazio di archiviazione che comporta un problema per la gestione energetica nel in cui aumenta il numero di domanda da parte dei clienti. Inoltre, l'utilizzo di server fisici e di architetture tradizionali, risultano inadeguati in situazioni laddove una SG deve agire in maniera reattiva, e in tempi relativamente brevi, nelle casistiche di ripristino o di errore.

I limiti descritti possono essere risolti grazie alla sinergia EC-CC Computing, con il quale combinare i loro punti di forza ed avere una soluzione robusta e allo stesso tempo sicura, flessibile, scalabile e performante.

Nella parte destra della figura (con Cloud) viene mostrato come le applicazioni Cloud possono essere utilizzate come deposito virtuale di energia [NG11]. L'utilizzo del CC è fortemente indicato nelle applicazioni SG in quanto, per struttura topografica, agiscono su larga scala e il CC risponde adeguatamente su tali requisiti non funzionali. È necessaria una tecnologia software scalabile per integrare e analizzare rapidamente il flusso di informazioni provenienti dalle risorse energetiche e, contemporaneamente, risolvere le esigenze di business.

4.1.4 Energy Management System

L'EMS è una soluzione IT basata su algoritmi e modelli statistici-matematici per il controllo, monitoraggio, previsione e pianificazione dell'utilizzo degli asset energetici e dei carichi da soddisfare.

Gli EMS rappresentano un'ottima scelta per l'uso intelligente dell'energia e il miglioramento della competitività aziendale, soprattutto nel caso di applicazioni industriali e terziari. Al fine di migliorare la generazione e la distribuzione dell'energia, la modellazione e la previsione dell'energia sono diventate una sfida estremamente importante nell'EM.

L'obiettivo primario dell'EM è quello di mantenere un equilibrio tra produzione e domanda di elettricità, dando alle energie rinnovabili una maggiore priorità tenendo conto dei vincoli del sistema. Nella figura 10 viene mostrata la tipica struttura di un EMS.

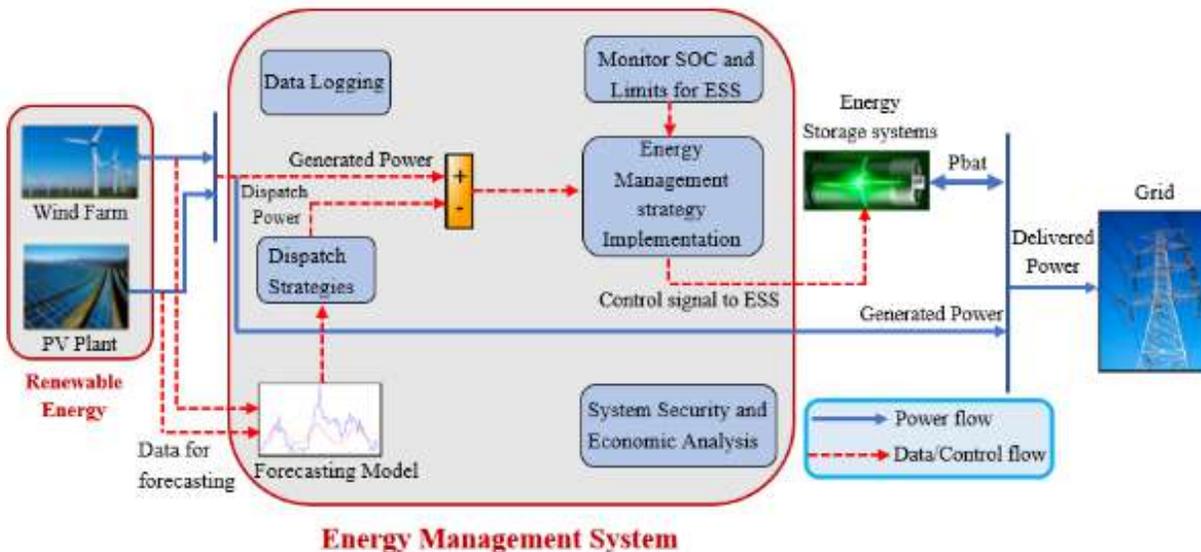


Figura 10: Struttura di un EMS

L'EMS si occupa essenzialmente di problemi di controllo, gestione, manutenzione e consumo energetico. È in grado di verificare lo stato operativo di un'apparecchiatura e di migliorarne rapidamente la gestione generale, riducendo le spese e aumentando la durata delle apparecchiature elettriche. Il sistema può inviare immediatamente un alert in caso di malfunzionamento delle apparecchiature, consentendo così ai gestori del sistema di ridurre al minimo le perdite. Nel sistema di gestione dell'energia rinnovabile, l'EMS può collegare stazioni di monitoraggio, centri di gestione e controllo distribuiti in tutto il sito utilizzando le tecnologie del sistema di controllo programmato, di comunicazione di rete e del database,

consentendo la raccolta, l'archiviazione, l'elaborazione, le statistiche, le query e l'analisi dei dati e persino il monitoraggio e la diagnosi dei dati.

L'EMS distribuisce l'energia generata dall'energia rinnovabile in base alle proiezioni di potenza effettuate utilizzando il modello di previsione. Il consumo energetico per unità diminuisce e l'efficienza economica ed energetica aumenta notevolmente grazie al monitoraggio centralizzato e alla gestione efficace dei dati energetici. Di conseguenza, il modello di previsione è una componente chiave dell'EMS che in questo modo è in grado di prevedere con precisione la produzione futura di energia.

Negli ultimi anni c'è stato un crescente interesse per le tecniche di machine learning per la previsione [EAZS22]. La previsione viene generata utilizzando dati storici e ricercando potenziali manifestazioni future delle caratteristiche identificate [Gre22], pertanto la premessa essenziale della previsione è che il futuro assomiglierà in qualche modo ai modelli o alla distribuzione del passato. Per fare buone previsioni è necessario trovare modelli o informazioni nascoste nei dati storici. La previsione energetica ha attirato interesse dallo sviluppo di approcci di AI e ML tanto che per più di tre decenni, gli algoritmi AI/ML sono stati utilizzati per la previsione energetica [KSN96].

L'AI ha recentemente fatto ulteriori progressi. Il **Deep Learning (DL)** [WLL+19], il **Reinforcement Learning** [FSZ19] e il **Transfer Learning** [CGJ19] sono alcuni degli approcci avanzati di AI/ML che sono stati implementati nella previsione energetica. Maggiori dettagli verranno indicati nella LA 1.5 *"Development and validation of ML-based model generation of DT and predictions"*.

4.2 Ecosistema architetturale

L'ecosistema architetturale tipica di una SG è molto complessa ed è caratterizzata da un insieme di tecnologie e metodologie appartenenti al dominio elettrotecnico, informatico e delle comunicazioni.

Sebbene esistano differenti varianti in letteratura [WLL+19], [YCC+19], [CWW+19], si pone in risalto il lavoro fornito dagli autori in [SSC+20], il quale hanno allestito una panoramica completa, elencando e descrivendo quali sono i componenti che dovrebbero essere adottati in una soluzione SG allo stato dell'arte, evidenziando per ciascuno di esse, elementi, tecnologie abilitanti e le principali funzionalità.

L'ecosistema architetturale, come mostrato in figura 11, è composto da sette livelli applicativi secondo una scala gerarchica e da quattro blocchi di supporto. Il flusso dati ed informativo è bidirezionale in cui il singolo livello comunica con i livelli adiacenti, mentre i blocchi di supporto agiscono in maniera trasversale sull'intero ecosistema.

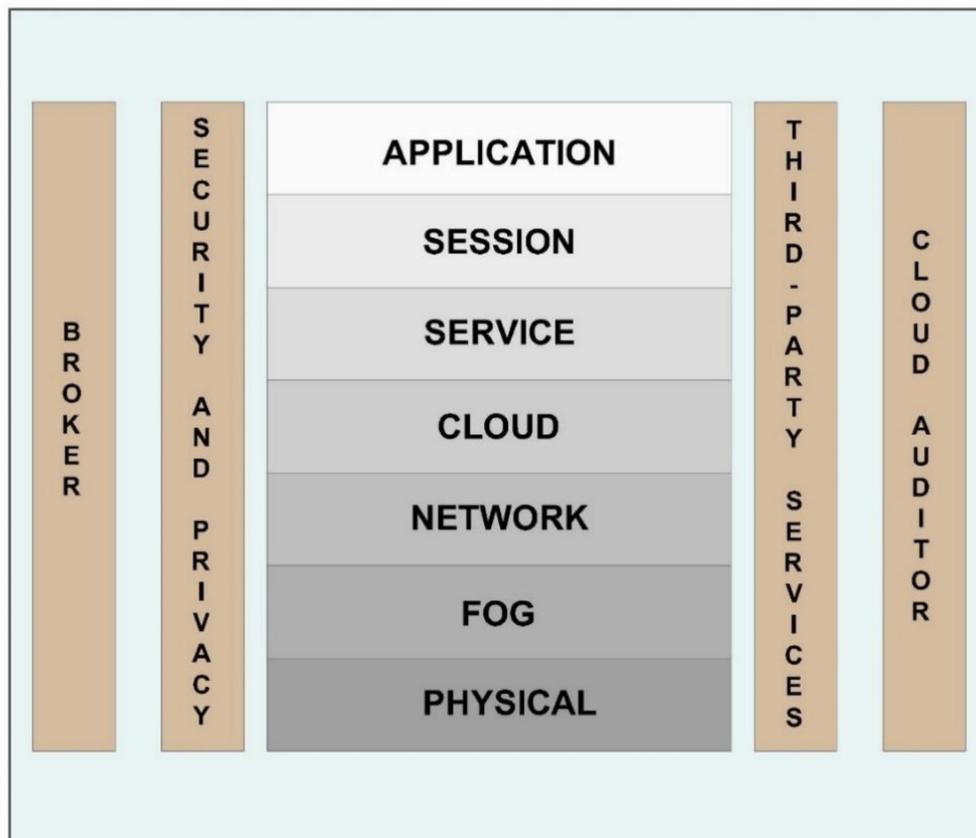


Figura 11: Ecosistema architetturale di una SG

Il livello **Physical** è costituito da tutti gli elementi di campo, denominati **asset**, che compongono la SG in grado di generare, trasmettere, distribuire, immagazzinare o consumare elettricità. Si annoverano dunque apparecchiature e dispositivi elettronici come elettrodomestici, veicoli elettrici, batterie, cogeneratori e risorse rinnovabili e Smart Meter. Essi sono dotati di sensoristica intelligente capace di captare e raccogliere i dati misurati ed inviarli verso il livello sovrastante Fog.

Il livello **Fog** è il corrispettivo modulo Edge Computing, le cui caratteristiche sono state descritte nel background teorico. Si tratta dunque dello strato atto alla gestione di dispositivi di monitoraggio e terminali intelligenti quali gateway, router, smart meter, PMU, SCADA e dispositivi IoT. Essi sono finalizzati alla raccolta dei dati dall'ambiente fisico, il livello Physical per l'appunto, ed agiscono vicino ai punti di raccolta.

Il livello Fog è l'area in cui poter definire applicazioni in grado di fornire tempestivamente feedback accurati sullo stato di funzionamento di una SG. Tale aspetto consente di soddisfare i principali requisiti operativi e di business legati alla gestione delle problematiche di funzionamento dell'infrastruttura monitorata sia a livello di controllo che di monitoraggio – in real time o near real time – della rete di distribuzione e trasmissione dell'energia. Inoltre, si racchiudono tutte le attività di analisi e pulizia del dato in modo tale da inviare verso sistemi esterni, quali ad esempio il Cloud, solamente i dati ad essi necessari per poter eseguire attività più complesse.

La capacità del livello Fog di agire come interfaccia e sistema di filtro tra il Physical e Cloud permette di ridurre il delay legato alla trasmissione del dato ed intraprendere azioni decisionali in tempi brevissimi. Per questo motivo, il tempo di risposta dei dispositivi on-Edge deve essere il più breve possibile e, devono avere una potenza di calcolo adeguata oltre che ad una capacità di archiviazione temporanea per reperire i soli dati utili in quell'istante di tempo. Inoltre le componenti del livello Fog devono agire in modalità isolata ed autonoma, qualora non possano collegarsi efficacemente con il livello Cloud.

La comunicazione tra dispositivi on-Edge e l'infrastruttura Cloud, nonché relativa trasmissione dati, avviene per mezzo di adeguati protocolli standard che veicolano il flusso dati verso un canale comunicativo, solitamente a lunga distanza, in maniera sicura ed affidabile. Ciò caratterizza il livello **Network**. È utile specificare che il livello Network può essere categorizzato in Network di livello I e di livello II per distinguere rispettivamente la comunicazione che avviene tra Physical e Fog - dove agiscono principalmente sensori e Smart Meter - e tra Fog e Cloud. Tuttavia, il Network di livello I può essere incluso nel livello Fog per via della breve distanza che intercorre tra i due livelli. [LGXL22]

Tra i principali elementi che costituiscono tale livello si annoverano, (1) tipologia di connettività (Ethernet, Wireless, Bluetooth e Seriale); (2) basilari protocolli seriali (MODBUS), di messaggistica (MQTT - Message Queuing Telemetry Transport) e comunicazione wireless (ZigBee); (3) tecnologie di rete mobile basate su 4G e 5G.

Gli aspetti critici da considerare nella definizione del livello Network sono (1) Selezione del mezzo di comunicazione che sia compatibile con i dispositivi IoT e avente larghezza di banda

adeguata per il trasporto di dati aventi una determinata dimensionalità; (2) prossimità e distanza che intercorre tra i dispositivi; (3) tecnologie e linee guida di CyberSecurity per proteggere lo scambio dati. Il dettaglio tecnico verrà descritto nella LA 2.3 *"Development of the IoT-EMS/Cloud platform interface module"* e nella LA1.3 *"Design of security protection layer"*.

Il livello **Cloud** e **Service** coprono gli aspetti del modulo Cloud Computing, anch'esse esplicitate nel background teorico. Con il livello Cloud è possibile archiviare ed elaborare una elevata quantità di dati e costituisce un elemento essenziale per poter gestire una SG. Nei sistemi energetici basati su SG, l'utilizzo massivo di sensori intelligenti, atti alla misurazione ed alla raccolta dati provenienti dai singoli asset, incentiva l'utilizzo di tecnologie emergenti quali Big Data Analytics ed AI, per poter gestire in maniera efficace lo storico dati e ad ottenere da esso conoscenza e pattern significativi da poter utilizzare in fase decisionale. L'analisi dei dati e l'addestramento di modelli di AI necessitano di tempi di esecuzione e potenti risorse computazionali scalabili e durabili nel tempo: per tale motivo risulta evidente che elaborazioni di tale portata non possono e non potranno essere, quindi, sostenute sul livello Fog/Edge. Dispositivi che governano il paradigma on-Edge, operanti all'interno di una SG, presentano un modello di calcolo ed archiviazione limitato sia in termini prestazionali che in termini geografici, poiché agiscono su scala ridotta rispetto ad un sistema centralizzato. Per cui è necessario adottare un'infrastruttura Cloud per realizzare soluzioni capaci di gestire dati eterogenei e proveniente da qualsiasi fonte e pipeline di Data Mining il cui supporto Cloud semplifica ed orchestra lo sviluppo, l'addestramento e la distribuzione dei modelli di AI. Le sfide che rientrano nel livello Service riguardano dunque tutte le attività di Big Data Analytics e AI applicate alle SG, quali ad esempio (1) Data Pre-Processing, Data Cleaning, Data Transformation; (2) Data Management; (3) Analisi predittiva; (4) Algoritmi di ottimizzazione; (5) Analisi Big Data e (6) Data Visualization in real-time. Il livello Cloud sebbene sia indicato come un livello a sé stante, poiché si racchiudono tutte le peculiarità di una generica infrastruttura Cloud e sua rispettiva progettazione, essa può avvolgere i livelli Service, Session e Application, o alcune di esse, in quanto è possibile adottare i livelli citati direttamente su Cloud.

La Figura 12 [ZPL+22] offre una mappatura tra i bisogni di business e i servizi Cloud: gli esagoni al centro del diagramma rappresentano i servizi/vantaggi del Cloud, i rettangoli intorno rappresentano vari driver di business, mentre i numeri colorati associano gli uni agli altri.

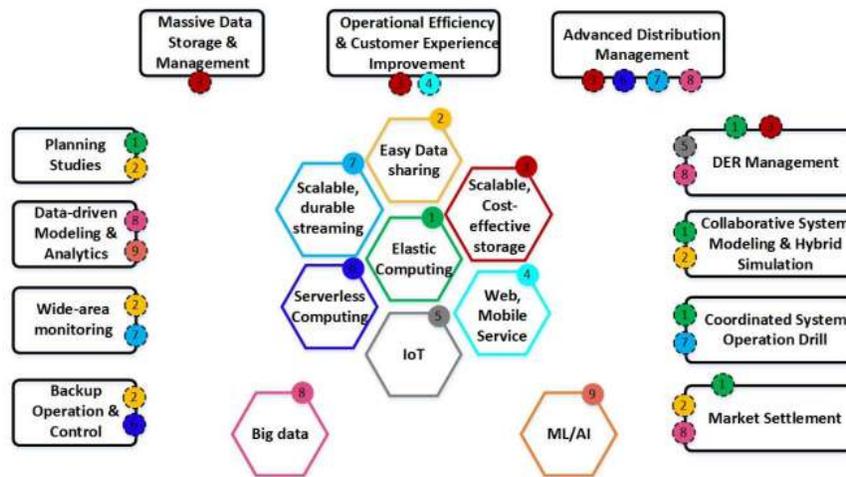


Figura 12: Mappatura dei bisogni di business con i servizi Cloud

Come indicato nella sezione introduttiva, da un punto di vista tecnologico, il livello Cloud concerne la realizzazione di una Cloud Solution Architecture, come verrà esplicitato nella LA 1.2 "Design of Cloud infrastructure", mentre il livello Service verrà illustrato nella LA 1.4 "Design of Big Data Analytics architecture".

Il livello **Session**, in maniera simile al livello Network, include un insieme di procedure che consentono la comunicazione e lo scambio dati tra il livello Application e il livello Session, tipico di uno scenario Client-Server dove l'utente esegue delle richieste per poter accedere a determinate risorse e il server restituisce, in caso di esito positivo, la fruizione di tale servizio. L'elemento di maggior rilievo per lo scambio di informazioni è il protocollo di comunicazione **API (Application Programming Interface)**.

Le API devono essere sicure, ed efficienti, rispettare l'interoperabilità ed essere indipendenti rispetto alla piattaforma adottata. La modellazione di API permette dunque di definire, quali sono le finalità e tipologie di richieste che esse supportano, come renderle accessibili ad utenti autorizzati e come validarle attraverso una serie di good practise ed opportune strategie di governance. Infine, individuare l'approccio architettura API più idoneo al contesto applicativo. Tra le principali rientrano le API REST, API GraphQL (Query Language), MQTT, SOAP (Simple Object Access Protocol), Webhook e WebSocket.

Il livello **Application** comprende tutti i software che è in grado di utilizzare l'utente finale quando accede ad un sistema informativo. In ambito SG, il livello Application racchiude

software di tipo EMS, dashboard e piattaforme web, atte a risolvere una o più esigenze specifiche tra cui:

- **Demand Side Management (DSM)**: racchiude una serie di strategie e tecniche che permettono alle utility elettriche di gestire ed attenuare situazioni in cui le richieste di carico da parte dei consumatori raggiungono un picco di energia superiore, indicato come **Peak Shaving**, rispetto a quanto consentito. Ciò avviene in fase di instabilità della rete, dove la domanda di elettricità - ossia la quantità di un bene che i consumatori desiderano acquistare per un dato prezzo - può subire fluttuazioni a causa di improvvisi cambiamenti meteorologici, un'impennata della crescita economica, danni alle linee o altri fattori. Attraverso i programmi di DSM, l'obiettivo è ottimizzare e bilanciare l'offerta prevista - ossia la quantità di un bene che i venditori desiderano vendere per un dato prezzo - nonché la quantità o la modalità d'uso dell'energia consumata da parte degli utenti finali. Le tecniche di Demand Side Management si distinguono a seconda dell'impatto temporale in cui avviene - breve, medio, lungo termine - e in base alle esigenze dell'utente. Una tassonomia rappresentativa è indicata in figura 13 il quale spiccano la **Demand Reduction (DRed)** e la **Demand Response (DResp)**. In particolare tutte le metodologie in cui il bilanciamento domanda-offerta è basata su metriche legate ai consumi rapportati sul prezzo su cui poter eseguire tariffazione dinamica ed intelligente. Il prezzo dell'elettricità pagato dal consumatore viene modificato in modo dinamico a seconda della fascia temporale considerata - **Time-of-use pricing** -, oppure dal costo di produzione e della domanda complessiva di energia - **Real-time pricing** - o se sussiste il superamento di un valore di soglia - **Critical-peak pricing** -. In alternativa i metodi incentrati sugli incentivi monetari - **Critical Peak Rebate**, **Direct Load Control** - sono basati su un accordo preventivo tra il consumatore e il gestore dell'energia. Principalmente utilizzati per incoraggiare i consumatori ad acquistare apparecchiature a basso consumo energetico o proporre prezzi più bassi se accettano di ridurre l'utilizzo durante i periodi di punta della domanda. In entrambe le strategie, il ruolo dell'AI ricopre un ruolo fondamentale in quanto tecnologia abilitata per la definizione di modelli predittivi per la previsione del carico elettrico, del consumo energetico e stima ed andamento dei prezzi, lungo l'orizzonte temporale.
- **Monitoraggio e Manutenzione predittiva**: grazie alla capacità di rappresentare digitalmente la SG, è possibile adottare modelli di **Digital Twin** da poter sfruttare ai fini del monitoraggio e supervisione in real time dello stato operativo dello stesso e per avere una visione su quello che potrebbe essere il suo comportamento nell'immediato futuro. Tali modelli, devono essere in grado di poter fornire informazioni sui flussi di energia tra i diversi sottosistemi, nonché fornire **KPI (Key Performance Indicator)** significative e utili per un monitoraggio efficace del sistema. Allo stesso modo, il modello deve essere di tipo data-driven e quindi deve essere necessariamente

correlato ai dati in real time generati dai diversi asset, nonché poter fare affidamento ai dati storici relativi ai singoli asset monitorati in differenti condizioni operative. Attraverso tale approccio sarà possibile abilitare logiche di monitoraggio sullo stato di funzionamento dell'asset e modelli predittivi accurati che, in sinergia con metodologie di visualizzazione e sistemi di alert, comportano una serie di logiche per l'intervento immediato in caso di guasti e mal funzionamenti.

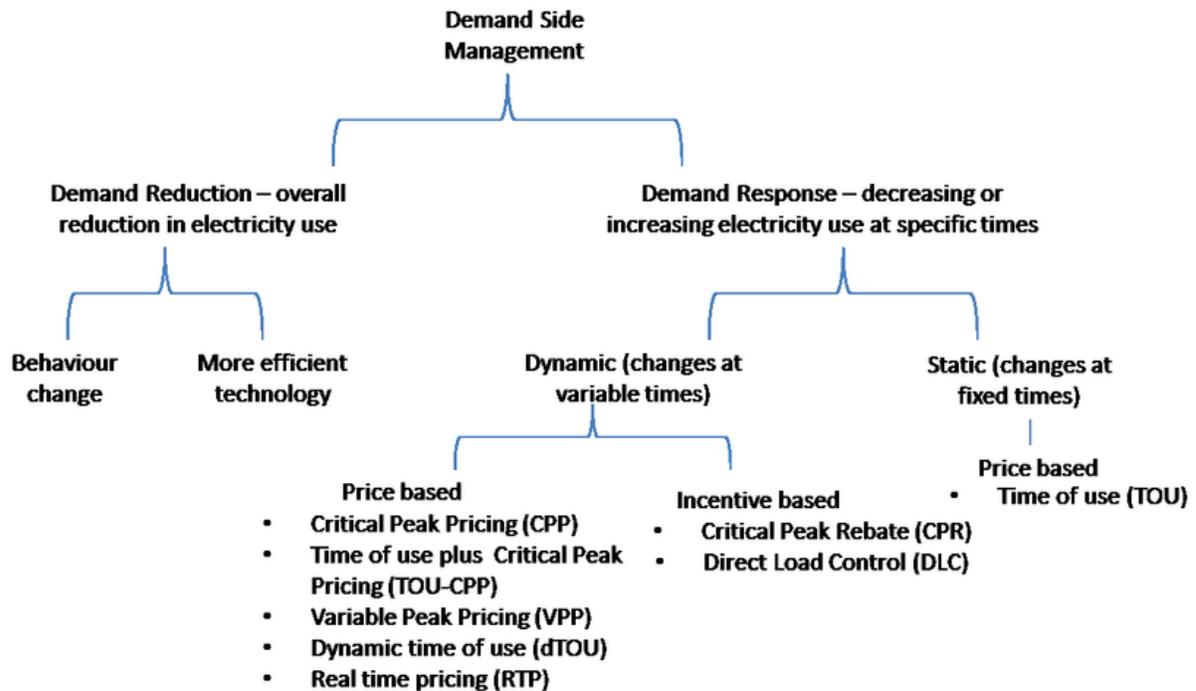


Figura 13: Tassonomia di un DSM
[PHG16]

Per quanto concerne i blocchi di supporto, il blocco **Broker** include tutti le attività necessarie per il commercio di energia e facilita tutte le operazioni di DSM.

Il blocco **Sicurezza and Privacy** è vitale data la natura complessa e interconnessa dell'ecosistema SG. Implica attività relative alla sicurezza dei dati e delle informazioni, protocolli sicuri, convalida degli utenti, firewall e rilevamento degli attacchi. Garantire che i dati degli utenti rimangano sicuri e privati è una preoccupazione significativa. Quanto descritto, verrà approfondito in maniera considerevole nella LA1.3 *"Design of security protection layer"*.

Il blocco **Third-Party Services** comprende l'installazione, la manutenzione, il monitoraggio operativo e i servizi aggiuntivi forniti per supportare vari processi aziendali all'interno dell'ecosistema SG. Viene evidenziata la personalizzazione di questi servizi in base alle esigenze degli utenti, nonché l'importanza della formazione per i professionisti di questo settore.

Il blocco **Cloud Auditor** si concentra sull'audit del sistema di autenticazione dell'utente, della sicurezza, della privacy e delle prestazioni all'interno del Cloud energetico. Mira a mantenere la trasparenza nei processi e a sostenere gli standard etici.

Infine, gli autori sottolineano l'importanza di standardizzare l'interoperabilità delle infrastrutture, regolamentare la condivisione dell'energia, definire politiche di archiviazione dei dati e privacy e istituire regolamenti per i mercati energetici in tempo reale. L'assenza di tali quadri normativi potrebbe ostacolare lo sviluppo e l'adozione delle tecnologie Cloud energetiche.

4.3 Soluzioni allo stato dell'arte

Con il riferimento sull'ecosistema architetturale dettagliato nella sezione precedente, si fornisce una rassegna allo stato dell'arte sulle soluzioni architetturali ECC in ambito SG.

La raccolta sullo stato dell'arte verte su una serie di parametri di ricerca: (1) ambito applicativo e caso d'uso della SG; (2) descrizione dell'architettura ECC; (3) sperimentazione adottata e (4) risultati ottenuti.

In ottica DSM - Demand Response, il CC viene utilizzato come SaaS per sistemi cyber-fisici per SG [SAK+13]. Gli autori hanno discusso su come la **Dynamic Demand Response (D2R)** può essere utilizzata per gestire in modo intelligente le richieste ed alleviare i picchi di carico. In tale modello, l'implementazione di una piattaforma basata sul Cloud è utile per supportare tutti i dispositivi presenti nei vari livelli di una SG.

I vantaggi della risposta dinamica alla domanda (D2R) sono 1) La domanda viene periodicamente prevista; 2) In base alle informazioni sulla domanda e sull'offerta, viene selezionata la strategia adeguata per ottenere una architettura di rete intelligente, affidabile, ed efficiente. Kim et al.[KKYT11] hanno proposto il **Cloud-Based Demand Response (CDR)** con approccio basato su incentivo monetario in grado di superare i limiti derivanti dall'architettura tipo master/slave.

Gli autori dopo aver analizzato le principali differenze tra le due architetture, come mostrato in figura 14, sottolineano l'importanza degli aspetti non funzionali da considerare durante la progettazione di una infrastruttura Cloud.

	Master/Slave-based Demand Response	Cloud-based Demand Response
Communication	Host address-centric communication	Data-centric communication [2], [3]
Network Architecture	Master and slave (<i>static tree</i> -based)	Publisher and subscriber (<i>cloud</i> -based)
Reliability	Vulnerable to a single point (server) of failure	Hard to attack subscribers
Traffic concentration	Server side	Dispersed through the cloud
Scalability	Number of nodes is limited by server capacity	Highly scalable
Computation	Between master (utility) and slaves (customers)	Within customers and/or cloud
Latency	Determined by RTT between master and slaves	Low latency when nodes are concentrated
Utility's role	Utility manages demand response	Utility sees demand response as a black box
Drawback	Initially simple, but as the number of nodes grows scalability becomes an issue	Having overhead for a small size network, but scalable

Figura 14: Master-Slave vs Cloud Demand Response

I requisiti tenuti in considerazione riguardano tematiche di (1) Sicurezza per la protezione delle linee comunicative tra fornitori e clienti e protezione verso attacchi informatici; (2) Affidabilità degli algoritmi e dei sistemi fisici durante la fase di Demand Response; (3) Scalabilità per supportare il maggior numero di utenti collegabili senza inficiare le performance degli algoritmi e la stabilità dell'infrastruttura; (4) Velocità per consentire la risposta rapida alla domanda richiesta; (5) Efficienza per soddisfare gli obiettivi prefissati dagli stakeholder: l'utility minimizza il costo per la realizzazione della risposta alla domanda, mentre i clienti

massimizzano i loro profitti.

Grazie ai risultati ottenuti, si evince che con l'ausilio della componente Cloud, durante la comunicazione tra utility e consumatore, i tempi di risposta risultano decisamente più rapidi e il Cloud si adatta perfettamente in contesti in cui è necessario agire su larga scala, dove il numero dei consumatori è elevato in proporzione all'area geografica considerata. Di notevole importanza è la comunicazione incentrata sui dati basata sui meccanismi di publish/subscribe sui topic, invece che da una comunicazione IP-centrica.

Ne consegue una maggiore performance degli algoritmi utilizzati. In figura 15 è mostrata l'architettura concettuale CDR.

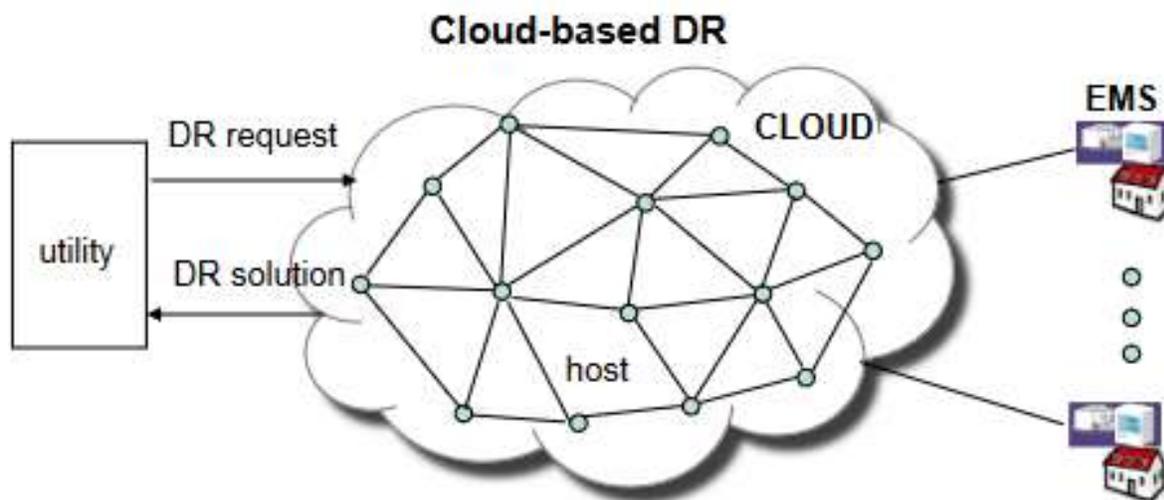


Figura 15: Architettura CDR

Nel lavoro proposto da [MM20], si illustra la realizzazione di un'architettura Cloud in ambito IoT con lo scopo di gestire in maniera efficace la modellazione di una SG, integrando nella rete elettrica fonti da risorse rinnovabili.

A partire da quali sono le principali linee guida di progettazione ed installazione di una SG [CDM20b], si riscontrano le maggiori problematiche sulla collocazione geografica in cui una SG viene installata, su come evitare il sovraccarico della rete a seguito di interruzioni durante la generazione di energia rinnovabile [GP15].

Tali caratteristiche risultano variabili ed incerte che portano alla necessità di ottimizzare la SG attraverso un algoritmo che sappia amministrare il bilanciamento di carico tra la domanda dei consumatori e l'offerta dei produttori attraverso previsioni svolte sulla quantità di energia erogabile dalla SG [AK19]. Si tratta di un algoritmo decisionale a due fasi, dove il modello in un primo momento deve tenere in considerazione variabili come il costo di avviamento, il costo di spegnimento e il costo di manutenzione. Successivamente, il modello dovrà prendere una seconda decisione, a breve termine, tenendo conto dei dati energetici, in modo tale che

i flussi di energia elettrica siano regolati e bilanciati tra le fonti di approvvigionamento e la domanda di energia richiesta dal consumatore, così da minimizzare l'acquisto di energia elettrica e conseguenti penalità per carenza di elettricità.

Grazie a strumenti di Big Data Analytics capaci di raccogliere ed analizzare numerose e molteplici sorgenti dati di differente varietà e in tempo reale, è stato possibile realizzare un'infrastruttura Cloud in grado di immagazzinare dati sia da fonte eolica su turbine eoliche di piccole e medie dimensioni che da fonti meteo, per poi elaborarli al fine di fornire delle previsioni sulla produzione energetica.

Gli autori durante la realizzazione dell'architettura hanno posto a confronto le principali caratteristiche delle metodologie in batch e in real-time per poi trarre pregi e difetti, come esplicitamente indicato nella figura 16

Comparative analysis of state-of-art methodologies.

Processing type	Advantages	Disadvantages
Batching analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Better accuracy • Low execution time • Faster processing of the data • Huge parallel handling capacity 	<ul style="list-style-type: none"> • High processing Overhead • Low ability to handle small files • Low simplicity • Unable for real-time computing
Stream analysis	<ul style="list-style-type: none"> • High scalability • Low execution time • High fault tolerance • Low communication time 	<ul style="list-style-type: none"> • Computational cost • High network latency

Figura 16: Confronto tra Batch e RealTime

Successivamente, sono stati individuati i principali **Cloud Service Provider (CSP)** presenti sul mercato internazionale analizzandone pregi, difetti e uso di esse in applicazioni in ambito IoT in scenari real-time. La scelta è ricaduta su:

- **Amazon Web Services (AWS)**
- **Microsoft Azure**
- **Google Cloud Platform (GCP)**

Dall'analisi effettuata il provider utilizzato dagli autori è stato AWS per via delle capacità di far conciliare l'obiettivo di ricerca, grazie ai servizi che la piattaforma è in grado di offrire in ambito IoT, analisi di Big Data e Data Visualization, con le caratteristiche non funzionali quali integrazione con applicativi di terze parti, disponibilità, scalabilità, sicurezza, disaster recovery e gestione della latenza. Inoltre la presenza dell'infrastruttura Cloud deve garantire

un sistema robusto, affidabile, scalabile e sicuro. In figura 17 è mostrato il confronto tra i CSP osservati.

CSP	Features	Advantages	Limitations
AWS	<ul style="list-style-type: none"> • Stream real-time analytics • AI, ML capabilities • Big Data Analytical platform • Apache Spark on the Cloud 	<ul style="list-style-type: none"> • Smooth Integration with 3rd party apps • Flexibility • End-to-end solution 	<ul style="list-style-type: none"> • Fewer development languages are supported.
AZURE	<ul style="list-style-type: none"> • Azure Stream Analytics • SQL and ML capabilities • DW to Big Data Analytics • Apache Spark on the Cloud 	<ul style="list-style-type: none"> • Many development languages are supported. • End-to-end solution 	<ul style="list-style-type: none"> • Tuned for companies with Microsoft products
GCP	<ul style="list-style-type: none"> • Streaming analytics • BigQuery Capability • AI, ML capabilities • Apache Spark on the Cloud 	<ul style="list-style-type: none"> • Most of development languages are supported. • End-to-end solution 	<ul style="list-style-type: none"> • Lack of integration with 3rd party applications.

Figura 17: Confronto tra CSP

La sperimentazione vede il coinvolgimento di aziende agricole del Perù dotati di una MG di tipo BTM (Behind The Meter), ovvero un sistema centralizzato dove l'energia elettrica viene prodotta e consumata nello stesso luogo [BU17].

L'architettura realizzata prevede una struttura organizzata su più livelli che comprende differenti fasi, il cui passaggio da una fase all'altra avviene in maniera sequenziale, in maniera analoga a quanto descritta nell'ecosistema architetturale. Descrivendo l'architettura ad alto livello essa è suddivisa in:

- **Manipulation:** simulazioni di campo, acquisizione dati da sensori e trasmissione degli stessi su Cloud.
- **Ingestion:** gestione per la ricezione dei dati su Cloud e propagazione del dato verso i moduli successivi.
- **Enrichment:** operazioni di pre-processing utili per poter garantire il corretto funzionamento del modello di ottimizzazione.
- **Forecasting:** esecuzione della prima fase del modello di previsione.
- **Optimization:** esecuzione della seconda fase del modello previsionale.

- **Visualization:** realizzazione di dashboard per la **Business Intelligence**, utilizzando i dati raccolti, elaborati ed archiviati nelle precedenti fasi al fine di osservare il comportamento in tempo reale.

In figura 18 si illustra il framework da un punto di vista architetturale, mentre in figura 19 è specificato per ogni fase, quale piattaforma è stato realizzato il software e quali dati esso ha utilizzato.



Figura 18: Architettura IoT

Real time analytics framework						
	Manipulation	Ingestion	Enrichment	Forecasting	Optimization	Visualization
Platform	AWS SDK for Python	AWS IoT Core	AWS IoT Analytics	Anaconda Data Science (Anaconda, 2022)	Anaconda Data Science	AWS QuickSight (AWS, 2022a)
Software	Python IDE Pycharm	SQL	SQL	R Software	Python Gurobi Solver	AWS SDK for Python
Data source	Weather sensors	-	AWS IoT Core	AWS IoT Core	Multiple sources from MG	AWS IoT Analytics

Figura 19: Tecnologia del Framework

In figura 20 è raffigurata una delle dashboard in cui è possibile monitorare la velocità media del vento su specifici intervalli orari.



Figura 20: Dashboard AWS QuickSight per Analisi del Vento

Per la sperimentazione, sono stati utilizzati dati eterogenei, provenienti da fonti differenti quali, dati meteo - legati a temperatura, umidità, pressione -, prezzo del costo dell'erogazione dell'energia elettrica, dati storici di misurazione e dati acquisiti in tempo reale - tra i quali carico elettrico, capacità scaricata, immagazzinata, e a pagamento -. Per i dati relativi al prezzo, il prezzo di acquisto dell'elettricità è stato fissato a 0,051 dollari/kWh e il prezzo di vendita come 0,0027 dollari/kWh entrambi al tempo t . Per i dati meteo il tempo di campionamento è di 1 secondo. I dati relativi al prezzo sono indicati sul seguente link <https://www.mef.gov.pe/en/economic-information> seppur non facilmente reperibili.

I dati storici sono stati raccolti dal Servizio Meteorologico e Idrologico Nazionale del Perù presenti sul seguente link <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>. I dati di produzione energetica sono stati raccolti presso aziende agricole pertanto non pubblici e non reperibili attraverso un link.

Con l'utilizzo di un algoritmo di ottimizzazione integrato in Cloud, si vuole dimostrare che tale approccio porti dei miglioramenti significativi sul risparmio del costo operativo medio sulla SG rispetto ai metodi tradizionali che utilizzano dati storici. La fase di valutazione

comprende una serie di test, sempre ponendo a confronto dati storici con dati raccolti in tempo reale, in cui si verifica non solo la bontà del modello ma anche come l'architettura si comporta negli scenari in cui tipicamente potrebbe essere coinvolta la SG. Come prima verifica, è stata valutata l'accuratezza del modello. Essendo il modello di ottimizzazione della MG, un problema di regressione, sono state utilizzate come metriche il Mean Squared Error (MSE) e il Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Dal confronto mostrato in 21, si evince che il modello ha un errore di predizione minore quando utilizza i dati in tempo reale rispetto ai dati storici.

Train-test split	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AWS										
MSE	1.109	1.113	1.108	1.111	1.111	1.107	1.113	1.111	1.109	1.108
MAPE	0.105	0.109	0.105	0.108	0.107	0.104	0.109	0.108	0.105	0.104
Current										
MSE	1.993	2.063	2.022	2.047	2.056	2.005	2.140	2.073	2.051	2.017
MAPE	1.019	1.095	1.043	1.073	1.082	1.021	1.170	1.106	1.074	1.059

Figura 21: Predizione analisi eolica

I successivi test mirano a valutare il modello della SG variando le impostazioni della rete elettrica e le capacità della PGU. Nella figura 22, si pone in relazione il costo totale della MG al variare della capacità della rete elettrica dove si mostra come non solo le due caratteristiche siano inversamente proporzionali ma l'architettura Cloud basata su CSP commerciale produca una notevole riduzione del costo rispetto ai metodi tradizionali basati su dati storici. In entrambi i casi, il costo massimo si verifica quando non viene prodotta energia elettrica, che potrebbe verificarsi ad esempio in caso di interruzione della rete dovuto ad un guasto tecnico o altro.

Invece nella figura 23, il costo totale della SG è posta in relazione con la capacità della PGU. Analogamente a quanto visto in precedenza l'architettura basata su AWS mostra risultati decisamente migliori. Il costo è massimo quando la capacità della PGU è nulla, ad esempio se risulta spenta, mentre il costo rimane stabile e non variabile una volta superati i 400 kW.

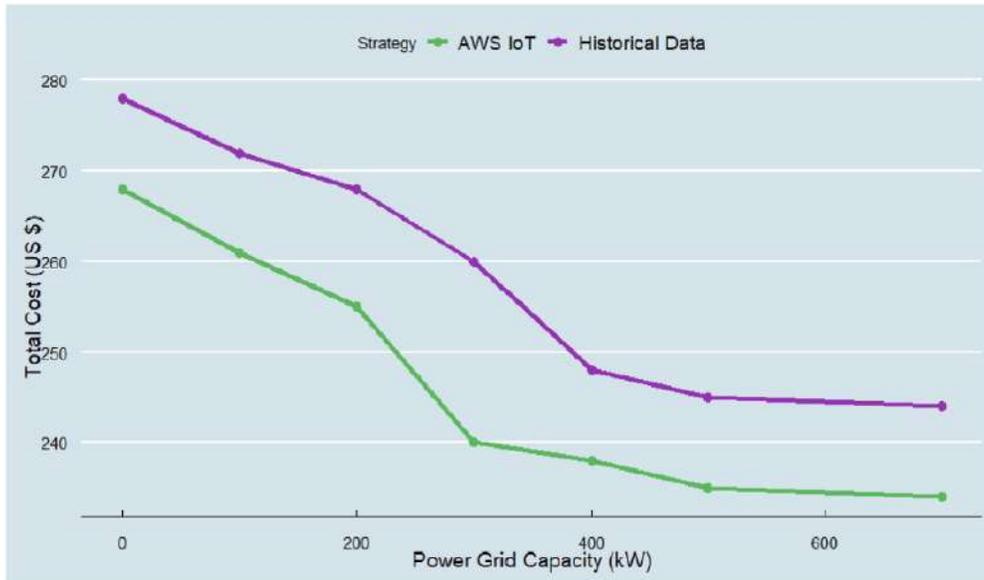


Figura 22: Relazione tra costo totale e capacità rete elettrica

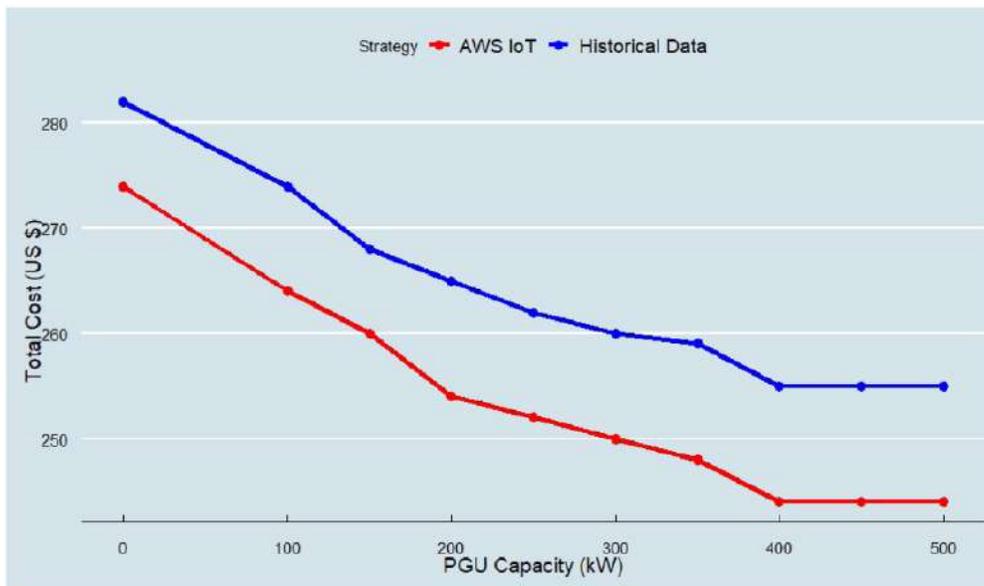


Figura 23: Relazione tra costo totale e capacità PGU

Infine, per la terza sperimentazione è stato eseguito l'algoritmo di ottimizzazione sul 25%, 50%, 75% e 100% di disponibilità dell'energia eolica, imponendo dei criteri di stop per terminare l'algoritmo. Nella figura 24 si pone in evidenza il tempo di esecuzione della CPU

a discapito della disponibilità. Per ogni casistica esaminata, il tempo medio utilizzato dalla CPU da AWS per i dati real-time è inferiore del 3,6% rispetto a quando sono utilizzati i dati storici.

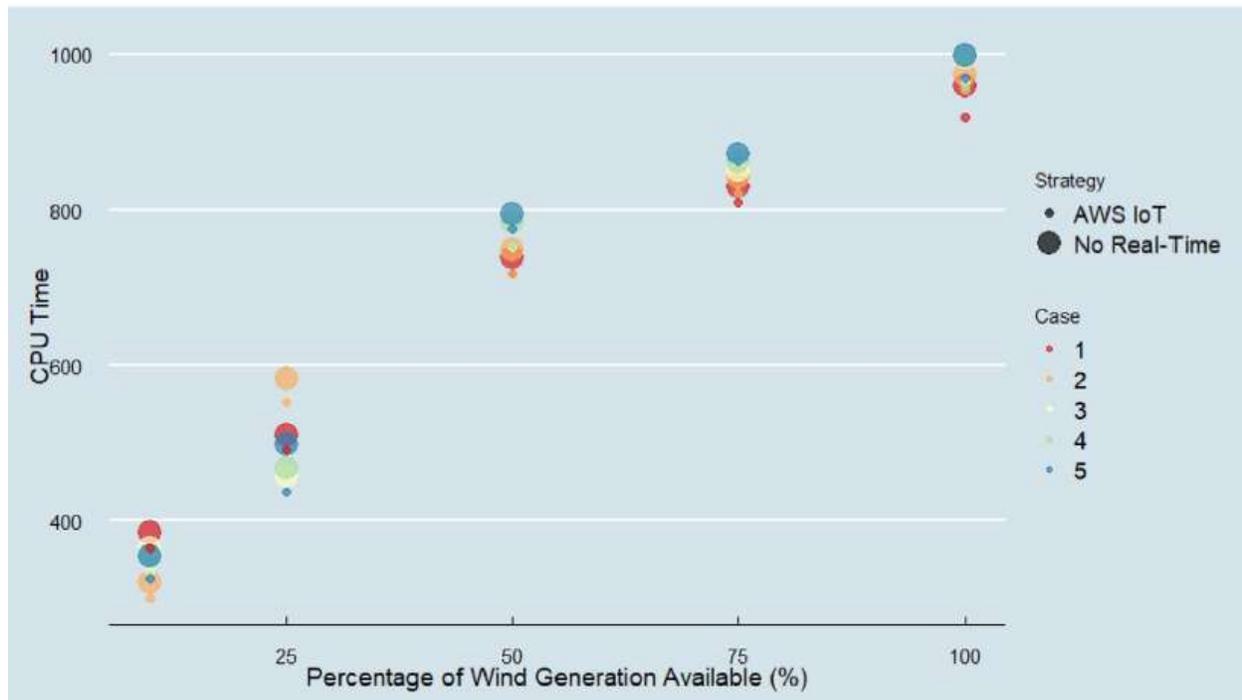


Figura 24: Relazione tra tempo CPU e disponibilità rete eolica

Xuan Li et al. [LL12] hanno proposto un approccio per la gestione delle SG basato sulla gestione dei picchi di domanda e il pricing dinamico. Con l'integrazione del Cloud, le richieste schedulate dei clienti saranno gestite in base alle risorse disponibili, priorità, e altri vincoli e l'assegnazione dinamica della larghezza di banda permetterà di gestire le problematiche in maniera conveniente. Durante le ore di punta, la larghezza di banda assegnata sarà superiore a quella delle ore non di picco, in modo da gestire contemporaneamente tutte le richieste in entrata. Inoltre, sottolineano l'importanza di un'infrastruttura SG che possa essere implementata a livello globale. È necessaria una piattaforma software scalabile per integrare e analizzare rapidamente il flusso di informazioni provenienti da più Smart Meter contemporaneamente, al fine di gestire le curve di domanda e offerta in tempo reale.

Nel contesto del monitoraggio degli asset energetici, come espresso in [JLL12], i servizi basati su Cloud vengono utilizzati per la comunicazione e la gestione delle SG fornendo al contempo la possibilità di monitoraggio della potenza e un sistema di allerta precoce (early warning system). In tale scenario, vengono utilizzate le **architetture SOA (Service Oriented**

Architecture) ed **Enterprise Service Bus (ESB)** per fornire supporto in tempo reale. Servizi Web standard, interfacce, registro dei servizi e accesso ai servizi sono implementati in un'unica applicazione Cloud utilizzando SOA. Inoltre con l'implementazione delle applicazioni Cloud la gestione delle risorse, la gestione delle attività e della sicurezza possono essere eseguite utilizzando l'architettura basata su ESB per la gestione energetica delle SG.

Il progetto finanziato da Greenko, fornitore leader di soluzioni a tema energia rinnovabile su territorio indiano, consiste nel potenziare il sistema di monitoraggio delle fonti rinnovabili sfruttando le caratteristiche del CC. L'implementazione di un'architettura hybrid ha permesso di consolidare le funzionalità on-premise già esistenti e allo stesso tempo di integrare una soluzione in Cloud in grado di superare i limiti ormai raggiunti dalla piattaforma al fine di gestire in maniera efficiente le richieste e le esigenze di business proveniente dal mercato dell'energia rinnovabile.

L'architettura in Cloud è stata implementata su AWS ed estende e perfeziona il lavoro svolto dagli autori in [Avn20] in un contesto reale di tipo industriale, terziario.

Il prodotto minimo funzionante sviluppato da Greenko, in collaborazione con il team AWS, prevede il monitoraggio di 100 turbine eoliche installate in uno dei parchi eolici di Greenko situato nella città di Poovani, nello stato del Tamil Nadu in India.

L'architettura da un punto di vista strutturale, come rappresentato in figura 25 è incentrato su 4 pillar: **Data ingestion**, in cui 100 turbine eoliche connesse in maniera sicura su Cloud, generano 93 tag ogni 100 secondi e inviano il flusso dati verso il Cloud AWS. **Data lake hydration**, dedicata alla definizione del Data Lake IoT in grado di memorizzare i dati su opportuni servizi di storage con successive operazioni di ETL per la pulizia del dato. **Data visualization**, per la visualizzazione delle 100 turbine in tempo reale con aggiornamento dei dati per ogni minuto **Data analytics**, per il controllo ed analisi dai dati

I 4 pillar sono sorretti in maniera orizzontale e trasversale dal modulo **Security** che fornisce sistemi di sicurezza sia per quanto la protezione dei dati in transit e in rest e sia per quanto riguarda l'autorizzazione ed autenticazione degli utenti AWS che utilizzano i servizi della piattaforma AWS.

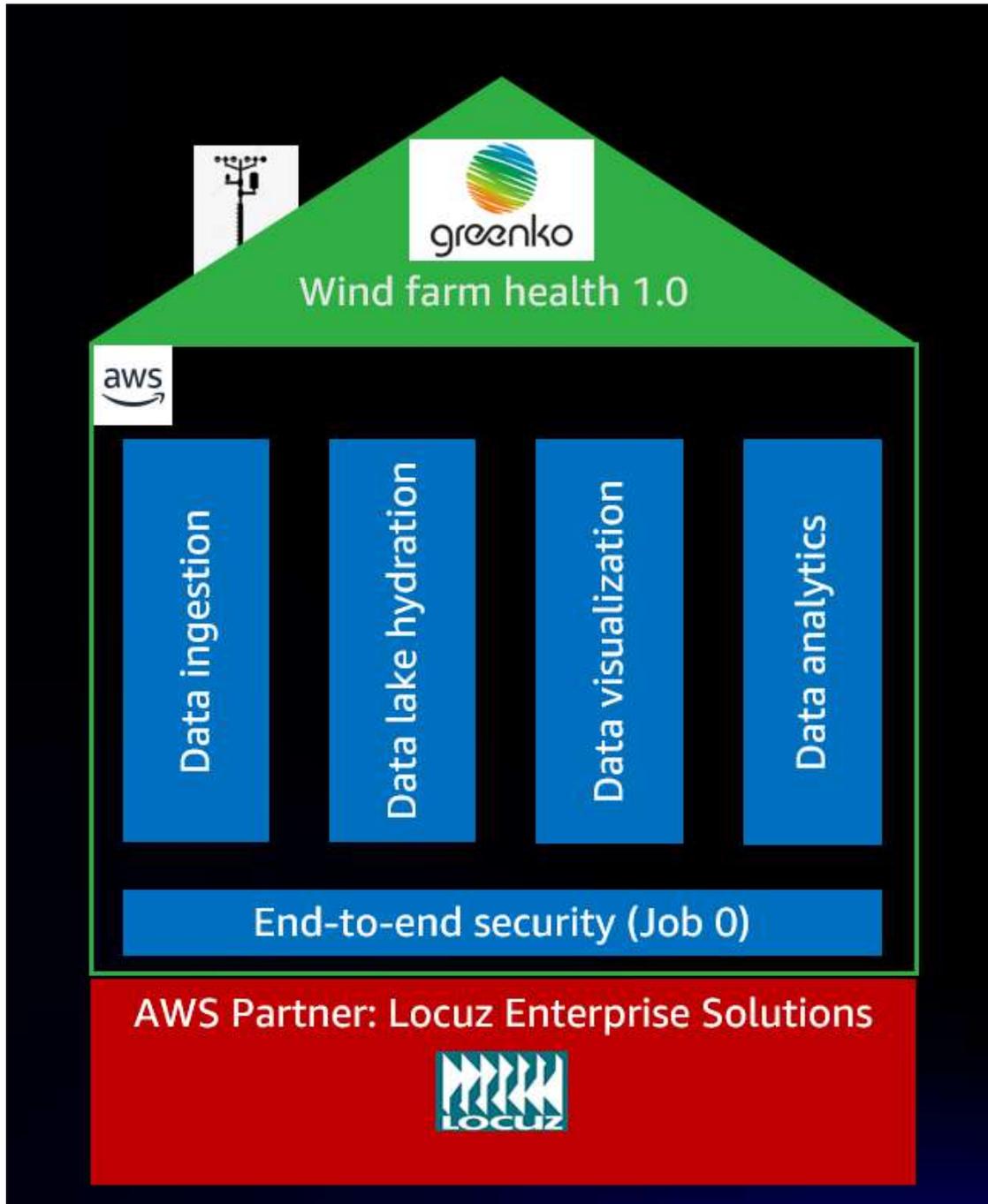


Figura 25: Greenko - Pillar Architettura

Nel dettaglio, come illustrato in figura 26, sono mostrati cinque componenti utili per descrivere il flusso esecutivo su AWS.

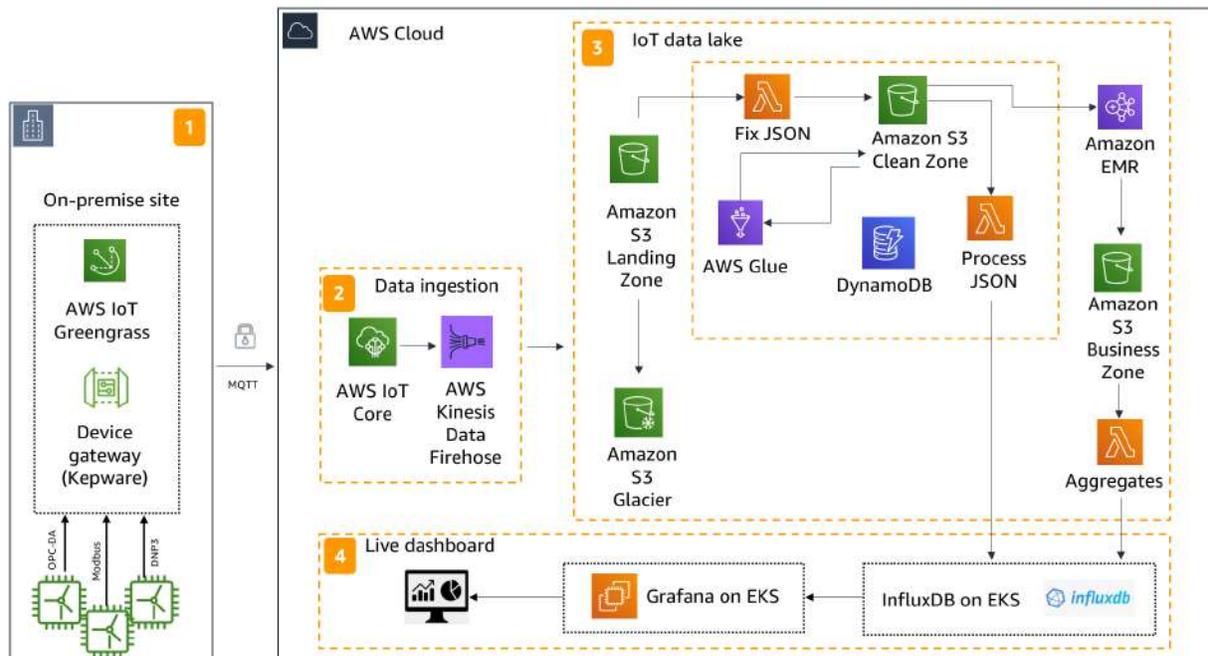


Figura 26: Greenko - Architettura AWS

Nella componente **Connettivity**, viene eseguito AWS IoT Greengrass on edge, ovvero su una macchina Linux sulla stessa rete locale di Kepware, gateway del dispositivo che comunica con il server SCADA di supervisione e di acquisizione dati del parco eolico di Poovani. Il parco eolico di Poovani utilizza i protocolli OPC Data Access e Distributed Network Protocol 3, che vengono convertiti in MQTT da Kepware. AWS IoT Greengrass utilizza dunque quindi il protocollo MQTT per inviare i dati al Cloud.

AWS IoT Greengrass indica un set univoco di certificati X.509, che vengono utilizzati per l'autenticazione con Kepware. Tutto il traffico dati che passa da Kepware a AWS IoT Greengrass viene crittografato tramite Transport Layer Security (TLS). Inoltre, AWS IoT Greengrass crittografa tutto il traffico inviato al Cloud con un certificato X.509 privato. Ciò è indipendente dalla presenza di una VPN.

Nella componente **Data Ingestion**, il compito di AWS IoT rules engine è di veicolare i dati, in formato JSON, verso Amazon Kinesis Data Firehose che deposita ogni minuto i dati sul servizio di archiviazione S3, su un bucket denominato Landing Zone. I dati ottenuti in ingresso dalla componente edge sono strutturati in maniera "grezza" in formato JSON e

rappresentano la componente storica del flusso esecutivo, pertanto poiché non verranno più utilizzati dalla piattaforma essi verranno archiviati nel bucket S3 Landing Zone secondo le modalità imposte dalla classe di storage S3 Glacier. Una volta che i file arrivano nel bucket S3 Landing Zone, una AWS Lambda corregge la struttura del file JSON e deposita i nuovi file "puliti" nel bucket S3 denominato Clean Zone. Dal bucket S3 Clean Zone, sono svolte tre differenti attività. Con una seconda AWS Lambda, il file JSON viene esaminato per estrarre i tags generati dalle turbine eoliche e memorizzarli su Amazon DynamoDB, database non relazionale gestito interamente su Cloud. Con AWS Glue, i file JSON sono convertiti in formato Parquet, più maneggevole da usare dai servizi AWS per analisi di Big Data, e li deposita all'interno del bucket S3 Clean Zone. Con AWS EMR (Elastic Map Reduce), piattaforma Cloud di Big Data, ogni 15 minuti esamina tutti i file Parquet presenti nel bucket S3 Clean Zone arrivati in questo arco di tempo ed utilizza tali dati per eseguire operazione di aggregazione. Il risultato finale viene salvato in un nuovo file in un terzo bucket S3 denominato Business Zone. Anche in questo caso, una AWS Lambda viene invocata quando i file sono depositati nel bucket S3 Business Zone, per leggere i dati aggregati ogni 15 minuti ed aggiornare il DB presente su Amazon DynamoDB per ottenere maggiore stabilità ed accuratezza durante il monitoraggio.

I dati in tempo reale e i dati aggregati ogni 15 minuti presenti su Amazon DynamoDB verranno utilizzati come sorgente dati per alimentare InfluxDB, database open source utile per la gestione di serie storiche.

La gestione delle dashboard è anche in questo caso gestito da Grafana. Sia Grafana che InfluxDB essendo componenti open source, sono importati su AWS attraverso AWS EKS (Elastic Kubernetes Service).

In fase di sperimentazione, la piattaforma su AWS è rimasta in funzione per per 1 mese al costo di 8,00\$ per turbina eolico. Per Greenko, la spesa complessiva vale l'impresa in quanto la soluzione in Cloud è riuscita a portare una serie di benefici.

Grazie alle caratteristiche chiave del CC AWS quali disponibilità elevata, scalabilità, sicurezza, Greenko è riuscita ad affrontare con successivo la richiesta dati in tempo reale con intervalli di frequenza di 10 secondi, diversamente dai 30 secondi precedentemente gestiti dalla piattaforma on-premise.

Inoltre, abbattuti tutti i problemi derivante dai data silos in quanto l'archiviazione dei dati è risultata ben consolidata all'interno della piattaforma. Infine, c'è stato un notevole risparmio dei costi, rispetto alla soluzione on-premises anche per il servizio offerto per la visualizzazione dei dati tramite dashboard.

Come progetti futuri, Greenko prevede l'espansione da 100 a 1.100 turbine eoliche, l'introduzione di altre risorse rinnovabili quali solari ed idroelettrico e attività di manutenzione predittiva e previsione energetica tramite algoritmi di ML.

In un simil scenario, il team di Amazon REO (Renewable Energy Optimazation) ha sviluppato un'infrastruttura Cloud per il monitoraggio in tempo reale della produzione emessa da risorse di energia rinnovabile. Il target di riferimento è un parco eolico contenente 13

impianti eolici da 3.600 kW ciascuno con 110 tag campionati ogni 20 secondi [Xin21]. La soluzione progettuale è rappresentata in figura 27, dove l'architettura presenta elementi in comune con i lavori precedentemente descritti.

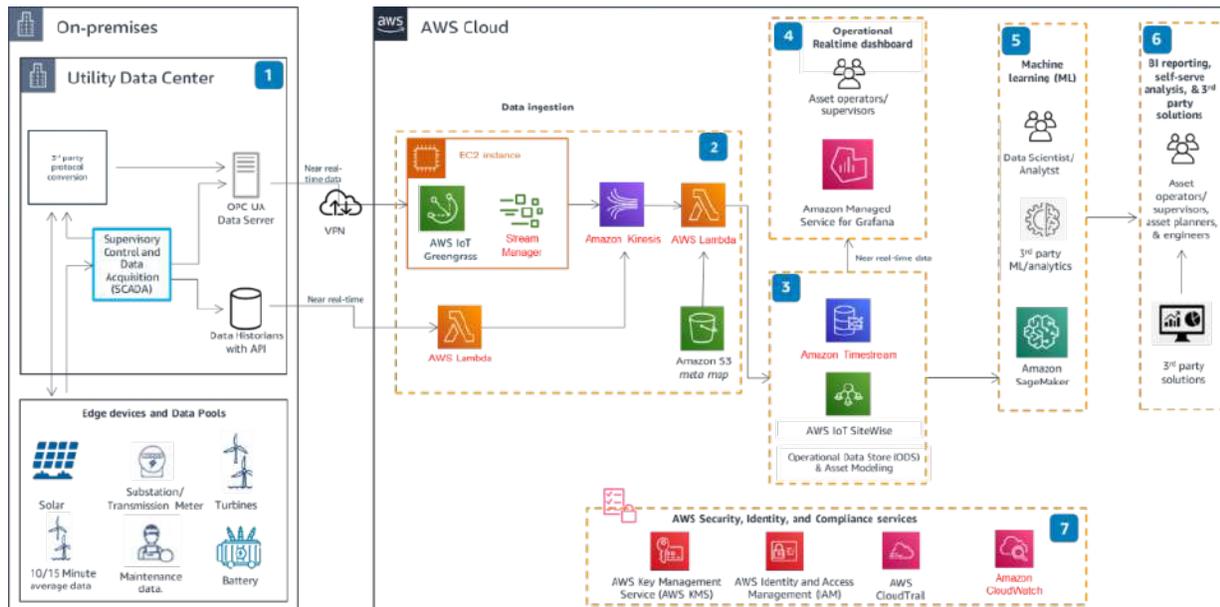


Figura 27: Architettura proposta da Amazon REO

L'architettura prevede un approccio hybrid in grado di stabilire una comunicazione tra l'infrastruttura on-premise e la piattaforma Cloud su AWS.

La piattaforma Cloud è dotata della componente di Data Ingestion in grado di acquisire dati sia in tempo reale e sia dati storici da un server SCADA installate on edge sui dispositivi tecnologici utilizzando AWS Lambda o AWS IoT Greengrass, dove in entrambi i casi veicoli il flusso streaming verso Amazon Kinesis. Quest'ultimo avrà il compito di immagazzinare i dati su Amazon S3. Nella componente di Data Analytics i dati memorizzati su Amazon S3 sono utilizzati da AWS IoT SiteWise per la configurazione di Amazon Timestream, servizio di database di serie temporali rapido, scalabile e serverless per applicazioni IoT.

Da Amazon Timestream è possibile estrarre i dati per utilizzarli in operazioni di

1. Dashboarding in tempo reale affidandosi a Grafana
2. Manutenzione predittiva mediante l'utilizzo di Amazon SageMaker che permette la costruzione, l'addestramento e il deploy di un modello di ML
3. Reportistica BI

Infine, in maniera trasversale la componente di AWS Security copre l'intera architettura rendendola accessibile solo da utenti autorizzati ad utilizzare le risorse AWS. Inoltre, la comunicazione tra on-premises e Cloud è sicura in quanto realizzata all'interno di una rete privata dedicata dove tutti i dati una volta depositati su AWS risultano crittografati e protetti. Tutte le operazioni sono tracciabili attraverso il servizio di audit AWS Cloud Trail. Attraverso l'uso delle dashboard la soluzione può mostrare differenti risultati come ad esempio, il riconoscimento delle anomalie all'interno di una turbina eolica e/o visualizzarne le performance. Nel primo caso la heatmap, illustrata in figura 28, pone in relazione la potenza termica con la gamme di potenza delle turbine eoliche nelle 48 ore. Il grafico mostra chiaramente che le turbine 1, 5, 8 e 12 presentano anomalie e sono spesso fuori servizio durante questo periodo.

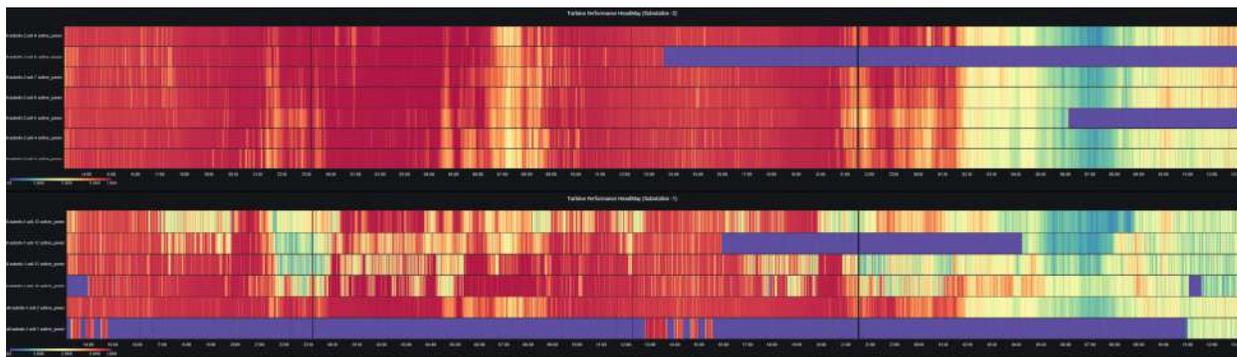


Figura 28: Anomaly Detection impianto eolico

Nel secondo caso invece, dalla dashboard in figura 29 è possibile visionare le performance di una singola turbina eolica nel corso dell'intera giornata. Si nota come la turbina viene spenta sistematicamente ogni notte per 2 ore, a partire da mezzanotte.



Figura 29: Analisi performance impianto eolico

La soluzione proposta gode di tutte le caratteristiche chiave che rendono AWS uno dei partner più influenti in chiave CC. Infatti, si tratta di una soluzione sicura, affidabile, scalabile, e low-cost in grado di adattarsi ad ogni caso d'uso e a qualsiasi frequenza di campionamento. Il lavoro condotto dagli autori verte [KJ20] sullo studio sperimentale in ambito IoT, in cui si descrive un sistema di monitoraggio, denominato Solar Monitor, in grado di raccogliere dati da sensori installati su pannelli solari e di monitorarne i parametri su ambiente nativo Cloud AWS. In questo modo, il fruitore del servizio avrà visibilità delle prestazioni dei pannelli solari e sarà capace, in fase decisionale, di sfruttarli al massimo della loro capacità. La sperimentazione consiste nel simulare fattorie in India che predispongono di pannelli solari. L'architettura adottata prevede una componente hardware caratterizzato dall'utilizzo di microcontrollori e sensori che simulano il comportamento di un pannello solare e da una componente software in Cloud per la raccolta, elaborazione e la visualizzazione dei dati.

La componente hardware è un microcontrollore dotato di modulo Wi-Fi e di funzionalità per la compatibilità con altri microcontrollori da cui è possibile stabilire connessione TCP/IP. Grazie a tale capacità, è stato possibile interfacciare il microcontrollore con i sensori per misurare i valori di tensione, di corrente, di temperatura e l'angolo di inclinazione dei pannelli solari, per poi inviarli successivamente verso la piattaforma AWS.

L'invio dei dati verso la piattaforma AWS avviene tramite messaggi MQTT (MQ Telemetry Transport) che risulta il protocollo più adatto per scenari IoT in virtù di inviare messaggi anche in aree remote, come nel caso di parchi solari su larga scala, dove la connettività Internet potrebbe risultare debole o poco stabile.

Il servizio AWS utilizzato è AWS IoT Core che stabilisce una connessione tra ESP8266 e AWS e raccoglie i dati inviati da ESP8266 in formato JSON. I dati vengono quindi inviati AWS IoT Analytics che archivia i dati in un apposito sistema di storage

I valori acquisiti dal pannello solare sono accessibile all'utente tramite AWS utilizzando Amazon Quicksight che li mostra sottoforma di grafici all'interno di una dashboard personalizzata.

Infine, in caso di allarme, guasti, o brusche interruzioni sul pannello solare, l'utente verrà allertato grazie a Amazon Simple Notification Service (SNS).

Con il monitoraggio delle componenti di un pannello solare e la visualizzazione dei dati in tempo reale con AWS QuickSight, Solar Monitor adotta azioni preventive per ogni misurazione per garantire che i pannelli solari funzionino correttamente. Infatti, nel caso della temperatura, se essa superi i 70 gradi viene attivato il sistema di raffreddamento. Per i valori di tensione e di corrente in base ai loro valori è possibile intuire che la presenza di pioggia e neve oppure altre particelle, tipo polvere, in giornate soleggiate, siano le principali cause per cui il pannello solare non sia in grado di assorbire al meglio l'energia solare. Non solo, con la potenza in uscita pari a zero è auspicabile che il pannello solare abbia subito dei guasti. L'angolo di inclinazione del pannello solare può essere ricalibrato se il pannello solare viene inclinato in maniera irregolare, ad esempio a causa del vento, e non è in grado di assimilare la luce solare in maniera ottimale.

In [TLW12] viene proposto un approccio basato su un agente mobile che combinato con il CC si aziona come intermediario tra i diversi livelli della SG. Diverse tipologie di agenti mobili come Data Mobile Agent (DMA) e State Mobile Agent (SMA) possono cooperare tra loro per soddisfare le richieste degli utenti. Questo approccio propone l'utilizzo di un agente mobile in combinazione con il CC per la gestione dei sistemi energetici, a causa della natura eterogenea della SG, in quanto nella SG sono presenti più utenti e più fonti energetiche insieme.

In [LYD⁺18], viene proposto un sistema collaborativo tra energia rinnovabile e EC. In questo sistema orientato all'energia rinnovabile, l'EC viene integrato con le MG al fine di massimizzarne l'utilizzo e ridurre le emissioni di carbonio. Prendendo come esempio il fotovoltaico, la struttura del sistema EC-CC nel sistema di generazione fotovoltaica (PV) è mostrata in figura 30.

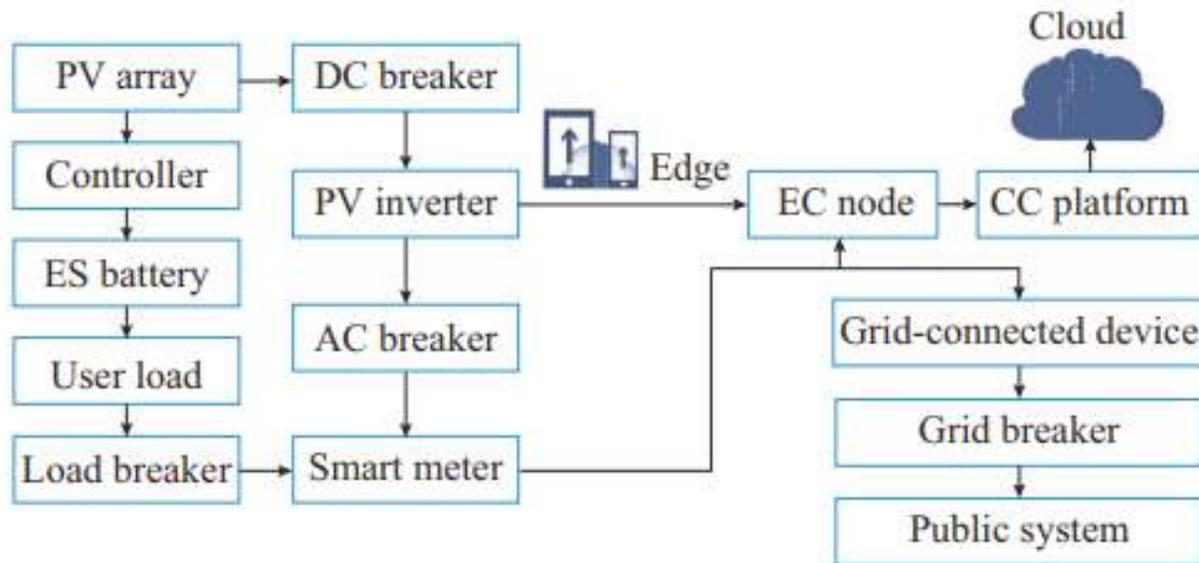


Figura 30: Sistema EC-CC per la generazione PV

La componente fisica di questa architettura si occupa di mettere insieme le informazioni relative allo stato delle apparecchiature e alle condizioni ambientali. Il pre-processing dei dati e l'analisi intelligente sono sviluppate sul lato edge al fine di migliorare la sensibilità della risposta operativa. In questo sistema i nodi edge sono installati sugli inverter fotovoltaici e Smart Meter al fine di processare e memorizzare i dati, mentre la piattaforma Cloud si occupa essenzialmente di gestire servizi quali il rilascio di informazioni, la connessione alla rete e la manutenzione periodica [WN08].

Si tratta di un sistema EC-CC completamente funzionale per il fotovoltaico in grado di fornire risposte rapide e operazioni intelligenti.

EdgeBox è stato proposto dall'ingegno di JiangHang, il quale mette in atto una efficiente organizzazione delle risorse tramite macchine virtuali e containers. I componenti di EdgeBox sono basati su algoritmi avanzati di DL, in grado di riconoscere perfettamente immagini e video. Tra i componenti di AI presenti segnaliamo nello specifico un componente di **object recognition**, un componente di **face recognition** e un componente di **anomaly detection**. I principali scenari applicativi di questa piattaforma sono i rilevamenti anomali delle linee elettriche e la manutenzione predittiva delle stazioni di ricarica. Il consumo di energia di EdgeBox è stato ridotto al minimo, consentendo a EdgeBox di sostenere cicli di lavoro anche di 30 giorni. Allo stesso tempo, la velocità di riconoscimento delle immagini raggiunge anche tempistiche pari a 0,8 s per immagine, il che consente alla piattaforma di condurre operazioni in tempo reale [LGXL22].

In generale, questa piattaforma EC è progettata per il rilevamento dei guasti di linee elet-

triche e sottostazioni basate sul riconoscimento delle immagini con un basso consumo energetico. L'architettura EC-CC viene adottata per migliorare la sicurezza delle operazioni quotidiane nella SG.

Transformer Terminal Unit (TTU) EC Platform è una piattaforma per i trasformatori di distribuzione, basata su ARM (Advanced RISC Machine), una tipologia di CPU basata su un'architettura di tipo RISC (Reduced Instruction Set Computer) così chiamati perché prevedono un set di istruzioni ridotto [NZF20]. I principali scenari applicativi includono il monitoraggio e il rilevamento dei guasti, ma anche altre funzioni avanzate tra cui operazioni ausiliarie basate sul foto-voltaico e ottimizzazione dei punti di ricarica dei veicoli elettrici.

FogHorn e **Google** hanno lanciato una piattaforma per lo sviluppo dell'EC nel 2018, denominata **FogHorn EC Platform**.

FogHorn [SL18] combina un processore di eventi ad alte prestazioni, algoritmi di ML e SDK per analizzare i dati raccolti in tempo reale e restituisce un numero elevato di risultati di calcolo. FogHorn viene utilizzato principalmente nelle stazioni di ricarica per migliorare utilizzo delle risorse, prevedere la domanda di manutenzione e garantire un elevato livello di soddisfazione del cliente con una risposta più rapida.

Diverso dalle due precedenti piattaforme EC, la piattaforma EC FogHorn è più orientata ai vantaggi commerciali, in quanto aumenta il valore economico delle piattaforme EC e può accelerare l'inserimento del sistema EC-CC nelle SG.

Architetture esistenti in letteratura, rispettano numerosi delle caratteristiche riportate nell'ecosistema architetturale concettuale, come ad esempio nella rappresentazione indicata in figura 31. Nella figura è possibile distinguere 4 layer principali: **perceptual layer**, **network layer**, **EC layer** e **application layer**.

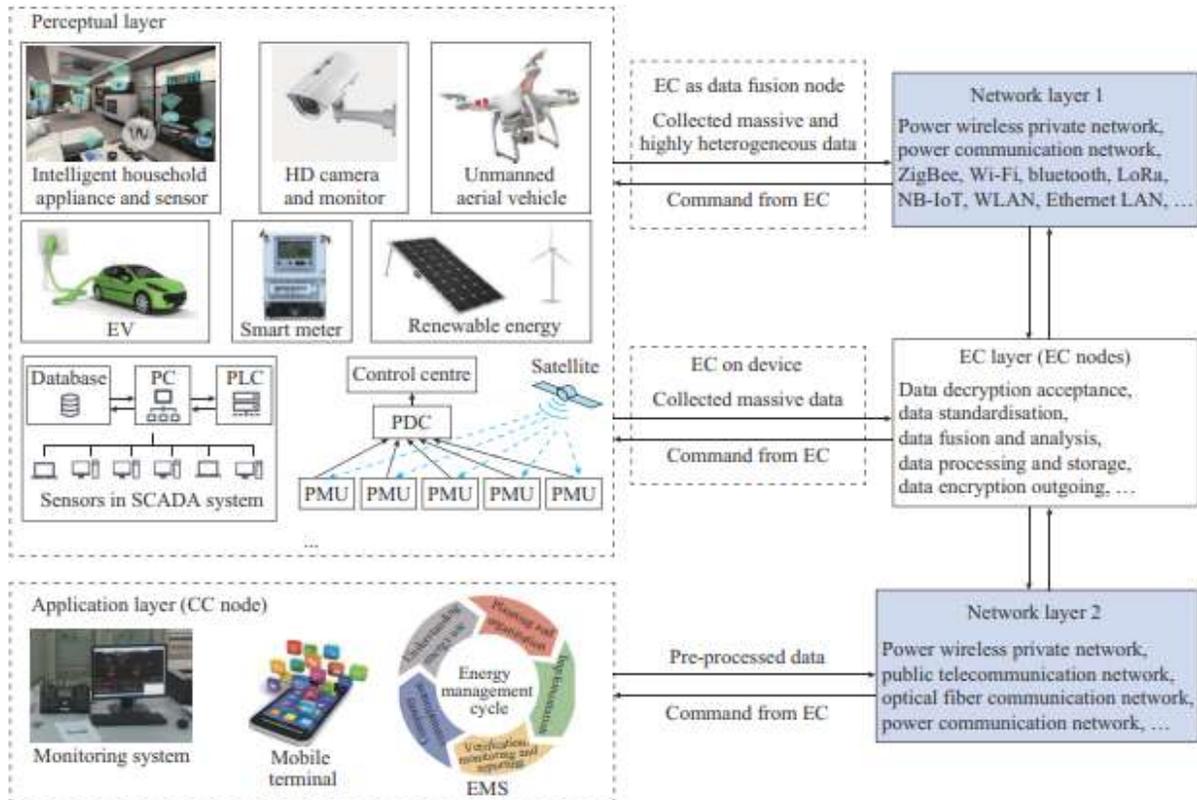


Figura 31: Un esempio di architettura di un sistema EC-CC nelle SG

Nel seguito viene fornita una raccolta di casi d'uso reali inerenti l'utilizzo della tecnologia Cloud nel settore energetico. Un riepilogo viene mostrato nella tabella 32 che segue. La tabella suddivide ciascun utilizzo nel mondo reale in termini di azienda, area di applicazione, tipo di Cloud e modello di servizio, costi iniziali e operativi e effort di manutenzione. Riepiloga inoltre lo schema di controllo della sicurezza e i vantaggi per ciascun caso d'uso nel mondo reale e documenta la scelta ottimale del CSM per ciascun caso d'uso.

Da questi esempi di successo nell'utilizzo del Cloud in ambito EM, si può comprendere come le preoccupazioni e/o rischi principali, e riguardanti la migrazione degli applicativi nel Cloud possono essere mitigati adottando delle opportune soluzioni tecnologiche ed architetturali.

Nel seguito si espongono i dettagli di alcuni di questi casi d'uso, selezionando quelli maggiormente attinenti agli scenari propri del progetto InSite. Nello specifico i casi d'uso che descriveremo nel seguito riguardano gli scenari inerenti gli studi di pianificazione e le previsioni di carico.

Case No.	Company	Application Area	Cloud Type	Cloud Service Model	Upfront Cost	Operating Cost	Maintenance Effort	Security Control Scheme	Featured Benefits
1, 2	NYISO ¹ ISO-NE ²	Planning studies	Public (AWS)	IaaS	No	Cloud resources usage, software offsite and concurrent users license	Low	IAM ^{1,2} , data encryption ^{1,2} , security group ^{1,2} , enforced MFA ² , password rotation ² , role-based access ² , HTTPS/TLS	Low cost; better scalability, much less task completion time and job waiting time
3	ISO-NE	Load forecasting	Public (AWS)	PaaS	No	Cloud resources usage	Low	IAM Role, data encryption, enforced MFA, API activity logging, HTTPS/TLS	Integrated process for data preparation, model building, training/tuning and testing to accelerate ML development
4	ISO-NE/ NYPA	Wide-area monitoring and data sharing	Public (AWS)	IaaS	No	Cloud resources usage	Medium	VPN over SSH, AES256 data encryption, separate subnets with NAT instance	Low cost; data sharing with ease, high fault tolerance, fast data recovery consistent display to enable real-time collaboration
5	ISO-NE	Backup control and emergency dispatch	Public (AWS)	FaaS	No	Extremely low considering the event is rare	Low	HTTPS/TLS for data in transit, SSE-KMS for data at rest, access, IAM User Role, API key, signed URL	Provide a backup solution to ensure operational continuity in case of an emergency, eliminate human errors in manual dispatch, comprehensive security control, surprisingly low cost
6	ISO-NE	Anomaly detection	Public (AWS)	PaaS	No	Cloud resources usage	Low	Role-based access, MFA, data encryption, HTTPS/TLS	Cluster are highly scalable and cost-effective, cluster configuration is easy and the workload is low
7	PGE	Operational efficiency and customer experience improvement	Public (AWS)	PaaS IaaS	Existing software license cost	Cloud resources usage for data lake and analytics	Low	Account or OU-based access, data classification and cybersecurity scrutiny	Ability to view/analyze both structured and unstructured data, reduced cost, easy and secure data sharing with any 3 rd parties, self-service reporting, data traceability, agile development of ML models
8, 9	Centrica ⁸ , AutoGrid ⁹	DER aggregation and management	Public (AWS)	IaaS ⁸ PaaS ^{8,9}	No	Cloud resources usage for data processing, storage, analytics and networking	Much lower than on-premises solution	MFA ^{8,9} , identity-based access ^{8,9} , data encryption ^{8,9} , activity logging ^{8,9} , 3 rd party testing and monitoring of vulnerabilities ^{8,9} , VPNs on IPsec ⁸ , mutual TLS ⁹ , intrusion detection ⁹ , Role-based API-level access control ⁹	Shorter development cycle, better system scalability, simpler DevOps management
10	AEMO	Market settlement	Public (Azure)	PaaS CaaS	No	Cloud resources usage	Low, work are automated	Unknown at the time of writing	Market settlement reduced from 30-min to 5-min blocks with massive data management capability
11, 12	MISO ¹¹ , NRECA ¹²	Collaborative system modeling and hybrid simulation	Public (AWS)	SaaS ¹¹ PaaS ¹² IaaS ¹²	No	subscription fee ¹¹ , Cloud resources usage ¹²	Low, fully managed by vendor	Access control ^{11,12} , incident response ¹¹ , System and communication protection ^{11,12} , encryption for data at rest ^{11,12}	Scalable infrastructure ^{11,12} , modeling consistency ^{11,12} , reduced IT effort ^{11,12} , integrated security, easy to access users' model ¹²
13	IncSys PowerData	Coordinated system operation drill	Public or Private	SaaS	Depends on cloud type	cloud resources usage	Different levels of effort	Firewalls, security groups, access control, intrusion detection, logging and monitoring, data encryption, TLS	Quick availability for customer, scalable and fault-tolerant to support mission critical drills, Access from anywhere

Figura 32: Casi d'uso reali con soluzioni Cloud nell'Energy Management

New York ISO (NYISO) ha iniziato a utilizzare un cluster locale per lo sviluppo del sistema per gli studi di pianificazione nel 2012. Con l'invecchiamento dell'hardware e l'aumento

del carico di lavoro, si è reso necessario procurarsi maggiori risorse al fine di ottenere buoni risultati in tempi ragionevoli. Tuttavia, il costo necessario per la sostituzione dell'intero sistema locale con uno con hardware aggiornato aveva un costo proibitivo.

La transizione al servizio Cloud si è invece rivelato più fattibile mentre il TCO (Total Cost of Ownership) distribuito su tutta la durata del server fino alla sua dismissione è risultato più alto. Pertanto, NYISO ha adottato una soluzione Cloud nel 2017, entrata gradualmente in produzione nel 2018. NYISO ha scelto AWS come fornitore di servizi Cloud e ha optato per un modello IaaS per costruire la sua soluzione Cloud per costruire la sua soluzione Cloud.

La soluzione ha integrato Microsoft HPC come gestore di istanze e dispatcher di job con AWS EC2 come servizio per scalare le macchine virtuali tramite EC2 per job HPC. L'architettura di questa piattaforma HPC basata su Cloud è illustrata in Figura 33.

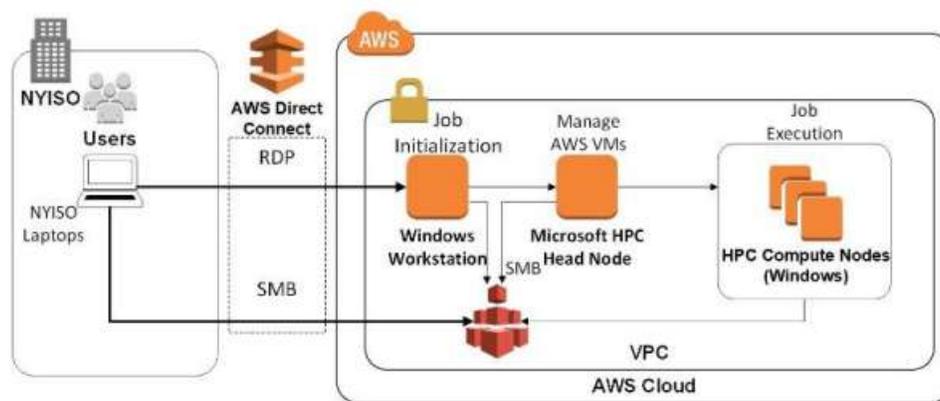


Figura 33: NYISO HPC Cloud Architecture

I job di simulazione vengono inviati dagli ingegneri NYISO al nodo principale del cluster HPC su AWS tramite un servizio di condivisione file che consente ai server locali l'archiviazione nel Cloud attraverso una connessione di rete dedicata: **AWS Direct Connect**. Questi job vengono quindi distribuiti a più macchine virtuali avviate dal servizio EC2, che esegue il job in parallelo.

I risultati della simulazione vengono rinviati al file system presente sulla rete aziendale di NYISO per il download da parte degli utenti. La piattaforma HPC Cloud di NYSIO è stata utilizzata per supportare gli studi di pianificazione in 3 applicazioni: GE MAPS, GE MARTE e PowerGEM TARA.

NYISO utilizza la crittografia dei dati e il controllo degli accessi per mantenere sicure le operazioni su Cloud, tramite il servizio IAM di AWS.

Con questa tecnologia Cloud, NYISO ha ottenuto significativi risparmi. Ha anche raggiunto una maggiore scalabilità e una notevole riduzione dei tempi di runtime e accodamento di job. Sono oltre 1200 i nodi di calcolo disponibile per NYISO sul Cloud quando viene inviato un

job alla piattaforma HPC di NYISO e core aggiuntivi possono essere richiesti se necessario. La durata di un job di un'attività esemplificativa è di **40 minuti sul Cloud rispetto alle 12 ore su un computer locale senza una parallelizzazione.**

ISO New England (ISO-NE) ha iniziato a utilizzare un cluster di elaborazione locale per facilitare agli ingegneri le operazioni con simulazioni su larga scala nel 2005. Come è avvenuto con NYISO, ISO-NE è migrato sul Cloud per gli studi di pianificazione nel 2013 diventando un pioniere nell'adozione del Cloud nell'industria.

Come la soluzione di NYISO, la piattaforma di elastic computing di ISO-NE è stata progettata su un modello IaaS utilizzando il servizio AWS EC2, garantendo la massima flessibilità e ottimizzazione del rapporto prestazioni/costi.

La figura 34 mostra l'architettura della piattaforma di ISO-NE. Come mostrato in figura, ISO-NE separa la parte rivolta al pubblico dei web server dai server di back-end utilizzando sia sottoreti pubbliche che private. Allo stato attuale, la piattaforma di elastic computing di ISO-NE ospita tre principali applicazioni software in ambito Energy Management: **GE MARS**, **PowerGEM TARA** e **Siemens PSS/E**.

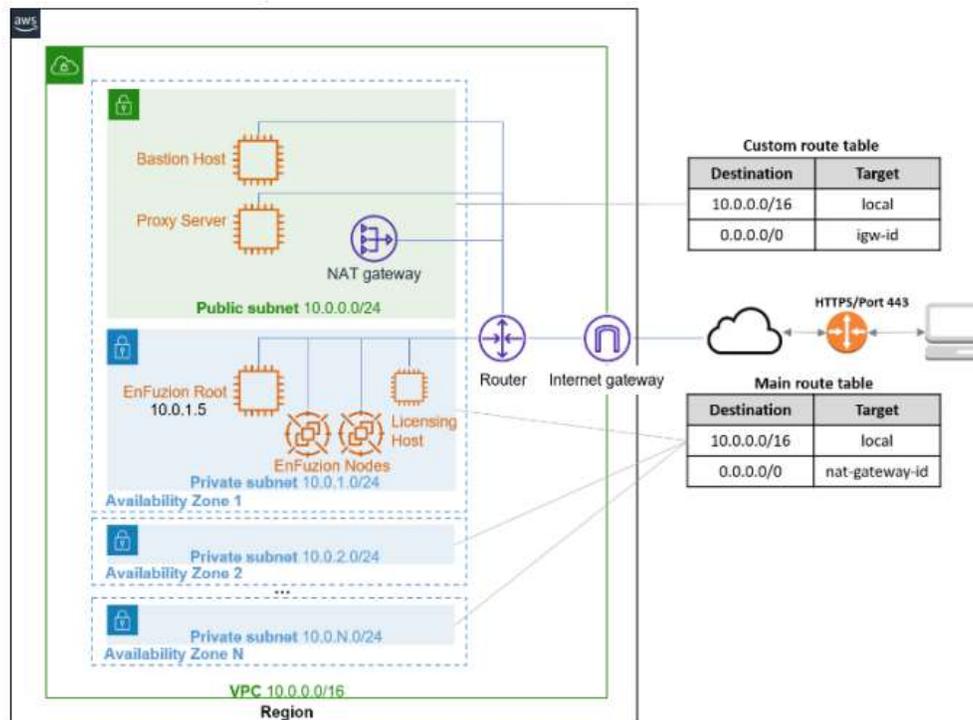


Figura 34: Architettura della Elastic Computing Platform di ISO-NE

La piattaforma Cloud ISO-NE ha molte somiglianze con quella di NYISO in quanto entrambe

sono versatili e possono ospitare molte applicazioni per simulazioni in larga scala di sistemi energetici. Inoltre entrambe le piattaforme possono scalare e ridurre le risorse informatiche in base alla domanda e utilizzare spazio di archiviazione Cloud illimitato. Ma la piattaforma Cloud di ISO-NE ha anche alcune caratteristiche uniche come la capacità di eseguire istanze in più Availability Zone (AZ) al fine di incrementare la fault tolerance, rischedulazione di job falliti, opzioni flessibili di acquisto delle istanze al fine di trovare un corretto equilibrio tra costi e prestazioni.

Data Study Type	No. of Jobs	No. of Nodes Used	Nodes Uptime	Cost (\$)	Time spent on cloud	
					vs. PC	vs. on-prem cluster
N-1-1 contingency analysis	$10^2 \sim 10^4$	10 ~ 20	1h ~ 6h	$10^1 \sim 10^2$	~ 30 times faster	~ 10 times faster
FCA delist study	$10^3 \sim 10^4$	100	< 1h*	100 ~ 200	N/A*	N/A*
NPCC BPS Test	$10^3 \sim 10^4$	10 ~ 20	1h ~ 12h	$10^1 \sim 10^2$	~ 30 times faster	~ 10 times faster
Demand curve study	$10^2 \sim 10^3$	5 ~ 20	3h ~ 5h	$10^1 \sim 10^2$	~ 40 times faster	~ 15 times faster
Tie benefit Study	$50 \sim 10^3$	5 ~ 20	1h ~ 5h	5 ~ 50	12 times faster	N/A*

Figura 35: Studi di pianificazione basati sulla Piattaforma di ISO-NE

In anni di utilizzo, la piattaforma ha dimostrato vantaggi significativi rispetto al tradizionale cluster on premise per molti studi di pianificazione quali la valutazione delle esigenze di trasmissione e studio della soluzione, analisi di adeguatezza delle risorse, NPCC Bulk Power System (BPS) test, studi di de-list con Forward Capacity Auction (FCA) [LZL18].

La tabella 35 offre una panoramica di quanto appena espresso.

Oltre che per gli studi di pianificazione la piattaforma ISO-NE viene utilizzata anche per le previsioni di carico, (**Load Forecast**).

La previsione del carico è un tipico scenario dei sistemi energetici che utilizza approcci data-driven per la modellazione e analisi. La complessità dei problemi di previsione di carico e la sua necessità di elaborare grandi moli di dati storici per costruire modelli altamente affidabili richiede un'elevata potenza di calcolo. Il CC si rivela una soluzione perfetta per entrambe queste esigenze.

ISO-NE ha utilizzato il CC per accelerare lo sviluppo di un sistema avanzato di previsione del carico a breve termine (short-term load forecasting - STLF) basato su algoritmi di ML. Il tool STLF di ISO-NE, come modulo integrato su EMS, predice la domanda di energia delle

successive 4 ore ogni 5 minuti al fine di supportare gli operatori con operazioni in tempo reale. Il tool utilizza il metodo del Day-Similar per cercare la migliore corrispondenza di previsione degli ultimi 7 giorni tenendo in considerazione alcune features quali il meteo, il giorno della settimana, la stagione, il carico effettivo del sistema in quel giorno, ecc. Il sistema richiede tuttavia agli operatori di riportare molti input nel caso in cui il giorno simili negli ultimi 7 giorni non viene individuato. Al fine di accelerare l'applicazione dei nuovi approcci data-driven per migliorare la precisione di STLF, ISO-NE adotta la soluzione PaaS su AWS per semplificare lo sviluppo e i test.

Con questa piattaforma, i data scientist ISO-NE hanno utilizzato diversi approcci ML per sviluppare nuovi algoritmi STLF, basati su **Decision tree**, **Random forest**, **Support Vector Machine (SVM)** e **K-mean Clustering**. Con questo approccio il tempo speso per data preparation, costruzione del modello, training e validation è stata gradualmente ridotto. Gli artefatti del modello ben addestrati, se necessario, vengono archiviati in un formato speciale e distribuiti in un ambiente on-premise per connettersi con l'EMS per la gestione della sicurezza.

La figura 36 mostra il workflow del processo di sviluppo del modello ML basato su Cloud. Trattandosi di Cloud pubblico, questo ambiente di sviluppo ML ha una perfetta integrazione con i servizi di controllo della sicurezza.

Seguendo le best practice consigliate da AWS, ISO-NE attiva il controllo degli accessi, la crittografia dei dati, le API di registrazione delle attività degli utenti e MFA per mitigare il potenziale rischio per la sicurezza associato ai task di ML, anche se i dati utilizzati, il carico del sistema e i dati meteorologici non sono riservati.

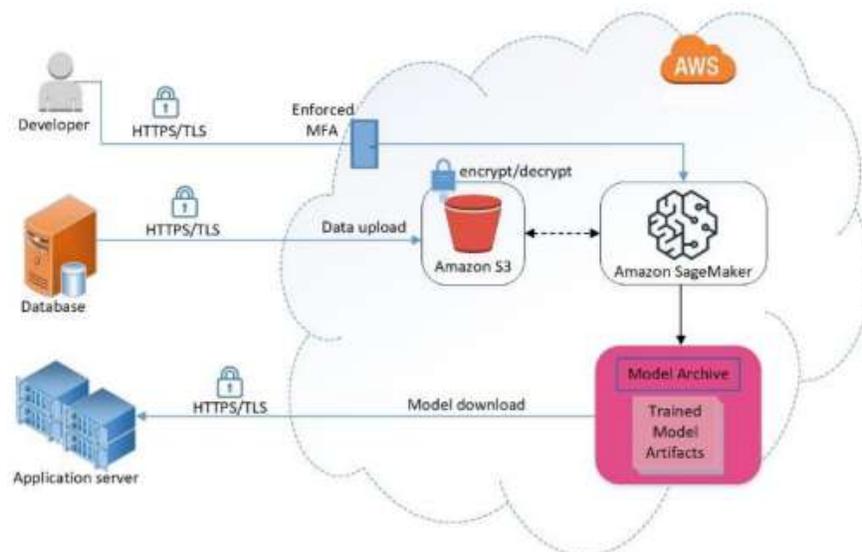


Figura 36: Flusso di sviluppo del modello ML di ISO-NE

Le aziende elettriche raccolgono quotidianamente diversi tipi di dati e con la modernizzazione dei sistemi energetici, molti servizi pubblici non sono in grado di analizzare l'enorme quantità di nuove informazioni raccolte dal sensore della griglia. Le misurazioni del sistema, in particolare i dati PMU contengono una notevole quantità di oggetti contenenti valore che riflettono le condizioni del sistema. L'estrazione di questi dati per identificare le osservazioni che si discostano dal normale comportamento del sistema può aiutare le società di distribuzione elettrica ad individuare i modelli o i problemi nascosti nel sistema. A tal fine c'è la necessità di eseguire analisi su enormi set di dati utilizzando metodologie di **Big Data Analytics** al fine di ottenere informazioni utili al sistema e risolvere problemi di **Anomaly Detection**.

Un tipico caso d'uso in tal senso è rappresentato dalla efficace identificazione delle escursioni di frequenza. Il **Frequency Response Initiative Report** del NERC (North American Electric Reliability Corporation) consiglia di equipaggiare tutti i turbogeneratori in modo da fornire una risposta immediata e adeguata alle escursioni anomale di frequenza [BAL3]. ISO-NE ha costruito una piattaforma scalabile di analisi dei big data su AWS per consentire l'identificazione rapida e precisa, dal set di dati storici, di eventi di deviazione della frequenza di grandi dimensioni.

Come mostrato in Figura 37, il servizio principale della piattaforma big data è **Amazon EMR (Elastic MapReduce)**, che viene utilizzato per creare un cluster elastico con tutti i nodi (**istanze EC2**) necessari in base alla crescita dei dati. L'EMR funziona perfettamente integrato con il servizio **Amazon S3** per accedere direttamente ai dati archiviati nel **bucket S3** utilizzato come se fosse un file system come **Hadoop File Distributed System (HDFS)**. Il cluster EMR supporta nativamente le applicazioni di analisi dei dati più aggiornate, inclusi motori di analisi dei big data come **Apache Spark** e **Hadoop**, piattaforme di ML come **Tensorflow**, **Data Warehouse** e applicativi quali **Apache Hive** e notebook come **Jupyter** e **Zeppelin**.

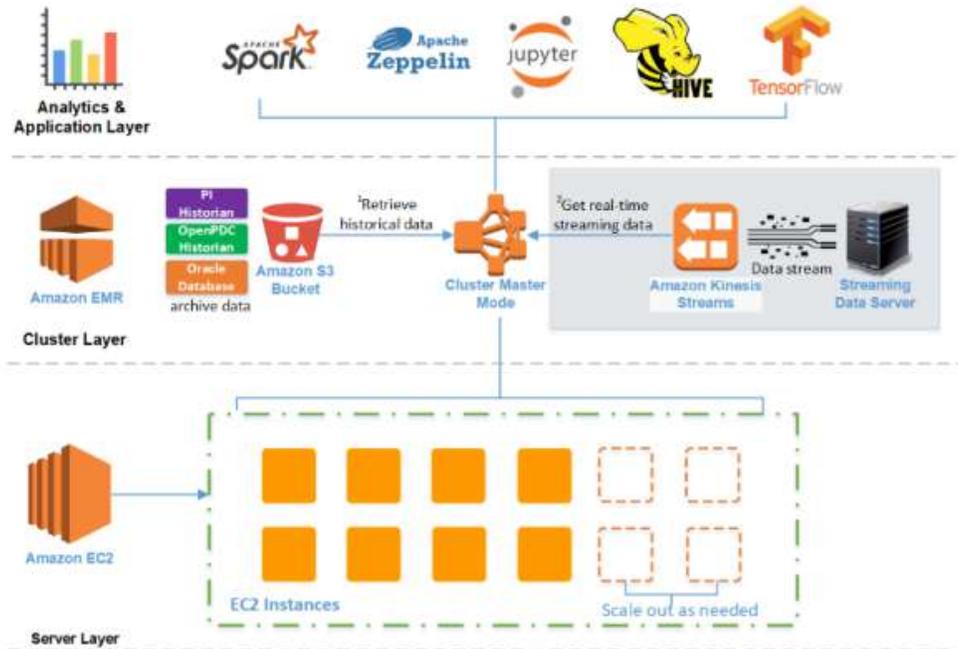


Figura 37: ISO-NE Big Data Platform

Il lavoro di Sairam et al. [SSM⁺22] propone un'architettura EC-CC, vedasi in figura 38 e figura 39, che in chiave manutenzione predittiva governa un sistema di rilevazione ai guasti di un pannello fotovoltaico. L'identificazione di un guasto o di un falso allarme avviene mediante un processo che sfrutta il lavoro combinato di un componente elettronico in grado di captare le condizioni climatiche esterne e lo stato di irraggiamento del pannello solare, un modello di AI XGBoost per la classificazione dello stato di deterioramento del pannello fotovoltaico ed un modello di XAI (eXplainable AI) per fornire all'utente la motivazione indicata dal modello durante l'analisi predittiva. Con particolare riferimento alla componente Cloud, le funzionalità offerte riguardano la capacità di archiviare i dati quali irradianza, potenza, temperatura, tensione e corrente provenienti dai dispositivi on-Edge in grado di misurare i parametri dei pannelli fotovoltaici, digitalizzando lo storico che alimenta tali pannelli ed infine, di addestrare modelli AI e XAI utilizzabili dai dispositivi on-Edge in fase di inferenza e previsione. La sperimentazione, avvenuta in laboratorio, ha dimostrato una notevole riduzione nei tempi di risoluzione e di manutenzione ed una previsione ai guasti più accurata rispetto ai metodi e modelli convenzionali, come indicato in figura 40.

Orientandosi verso il sistema energetico domestico, diversi terminali nelle case moderne possono generare una grossa mole di dati edge. A causa della tutela della privacy e della bassa latenza, l'EC nelle case intelligenti deve consistere di nodi di dati di piccole dimensioni [PM17].

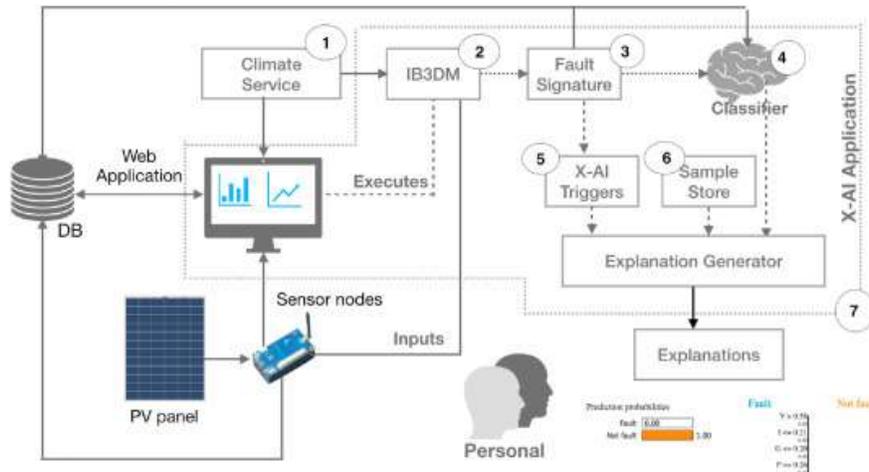


Figura 38: Architettura concettuale Edge-Cloud nella manutenzione predittiva

Applicando l'EC in ciascuna casa, il CC della MG può realizzare un maggior numero di funzioni con una pressione di calcolo minore. Un esempio di struttura di un sistema EC-CC nell'ambito di un sistema energetico domestico è mostrato in Figura 41. Nello strato percettivo (Perceptual Layer) sono presenti varie tipologie di terminali: 1) terminali mobili come smart phone, controller di alimentazione mobili o table; 2) tradizionali elettrodomestici intelligenti come impianti di riscaldamento, impianti di illuminazione, televisori e condizionatori; 3) controller per elettrodomestici come prese e/o gateway intelligenti; 4) apparecchiature energetiche per uso domestico di nuova generazione: EV (electric vehicles), ES (Energy Storage) e PV (Photovoltaic). Lo strato percettivo raccoglie i dati degli elettrodomestici e altre informazioni provenienti dalle case intelligenti quali i vantaggi operativi di alcune apparecchiature orientate al profitto. Poi tali dati vengono mandati ai nodi EC tramite il Network Layer 1.

I dati vengono quindi processati e memorizzati nei nodi EC e i relativi risultati inviati al Cloud tramite il Network Layer 2. Le funzioni principali dei nodi EC includono: 1) l'analisi dei dati, la connessione in tempo reale e la gestione delle risorse. Al contempo un'architettura collaborativa EC-CC può evitare carichi eccessivi, ottimizzare la curva di carico e garantire un equilibrio e un funzionamento stabile del sistema energetico della casa intelligente. I nodi EC e l'application layer possono essere combinati come platform layer: come precedentemente espresso, i nodi EC sono responsabili del preprocessing e delle azioni rapide per il livello CC pertanto i livelli EC e CC collaborano tra loro nella piattaforma di base in base alle loro specifiche funzioni. Ad esempio è possibile realizzare il monitoraggio degli eventi, l'allarme precoce e l'analisi del clustering nei nodi EC e aggiornare di conseguenza il modello riconosciuto dal Cloud. Molte funzioni del sistema EC-CC applicato ai sistemi energetici domestici esistono anche negli EMS per case intelligenti. Pertanto, il sistema EC-

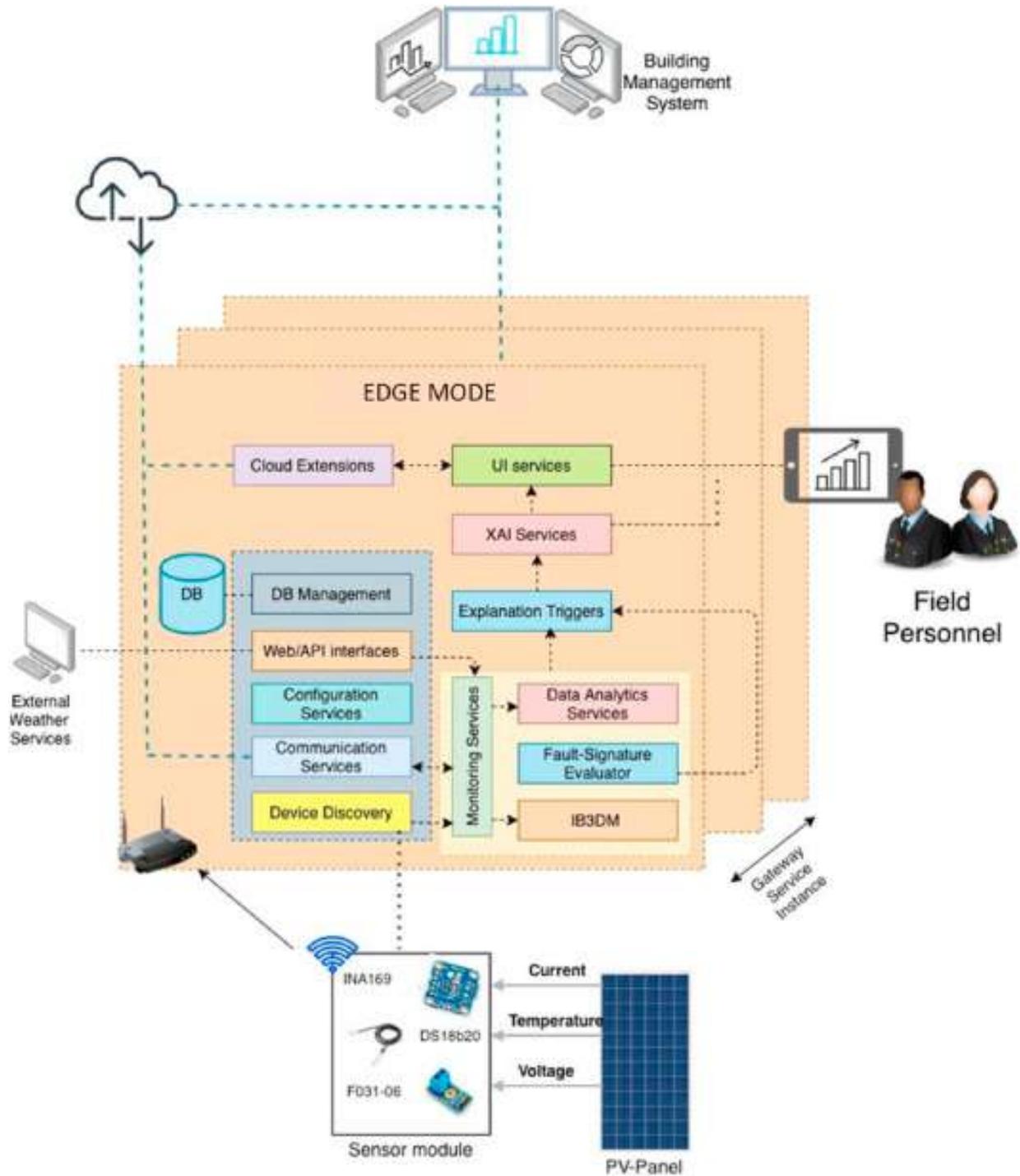


Figura 39: Architettura concettuale Edge-Cloud nella manutenzione predittiva

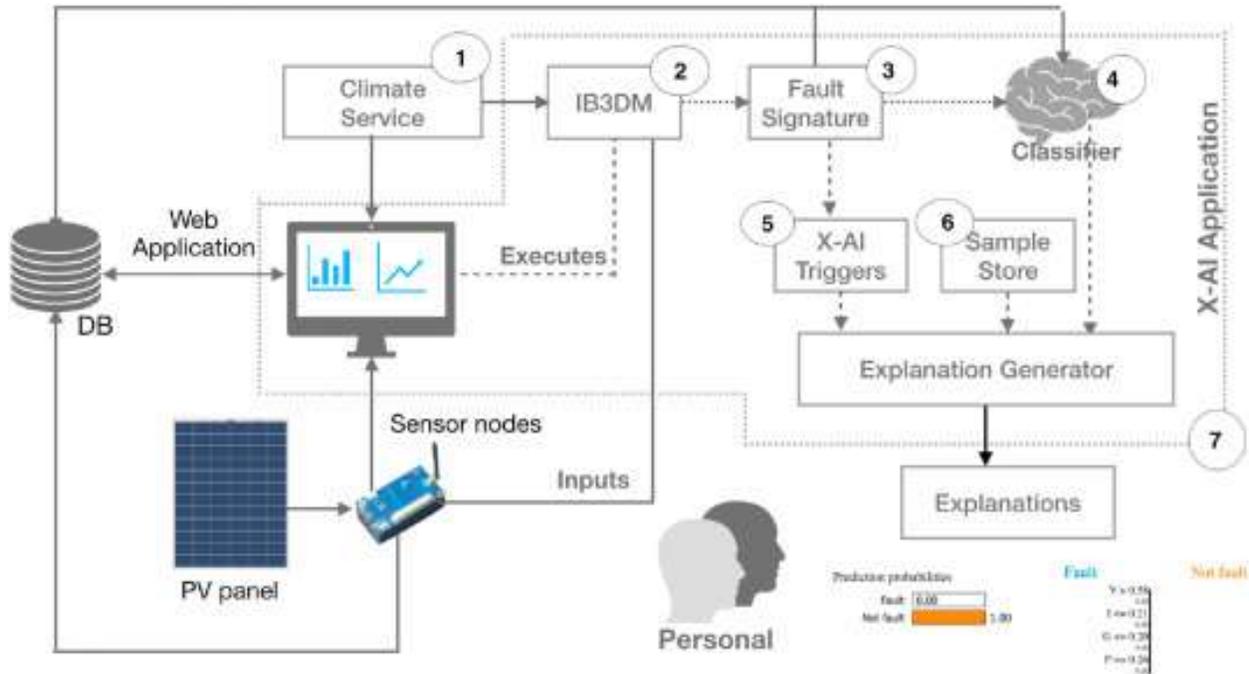


Figura 40: Risultati ottenuti dagli algoritmi di manutenzione predittiva

CC fornisce un modo efficiente per gestire gli EMS gerarchici e gli EMS sono una notevole applicazione del sistema EC-CC applicato alle SG. Va notato che non solo l'EMS per le case smart necessita di un sistema EC-CC, ma la collaborazione è necessaria anche per molti altri sistemi di gestione ambientale, come edifici smart e microreti.

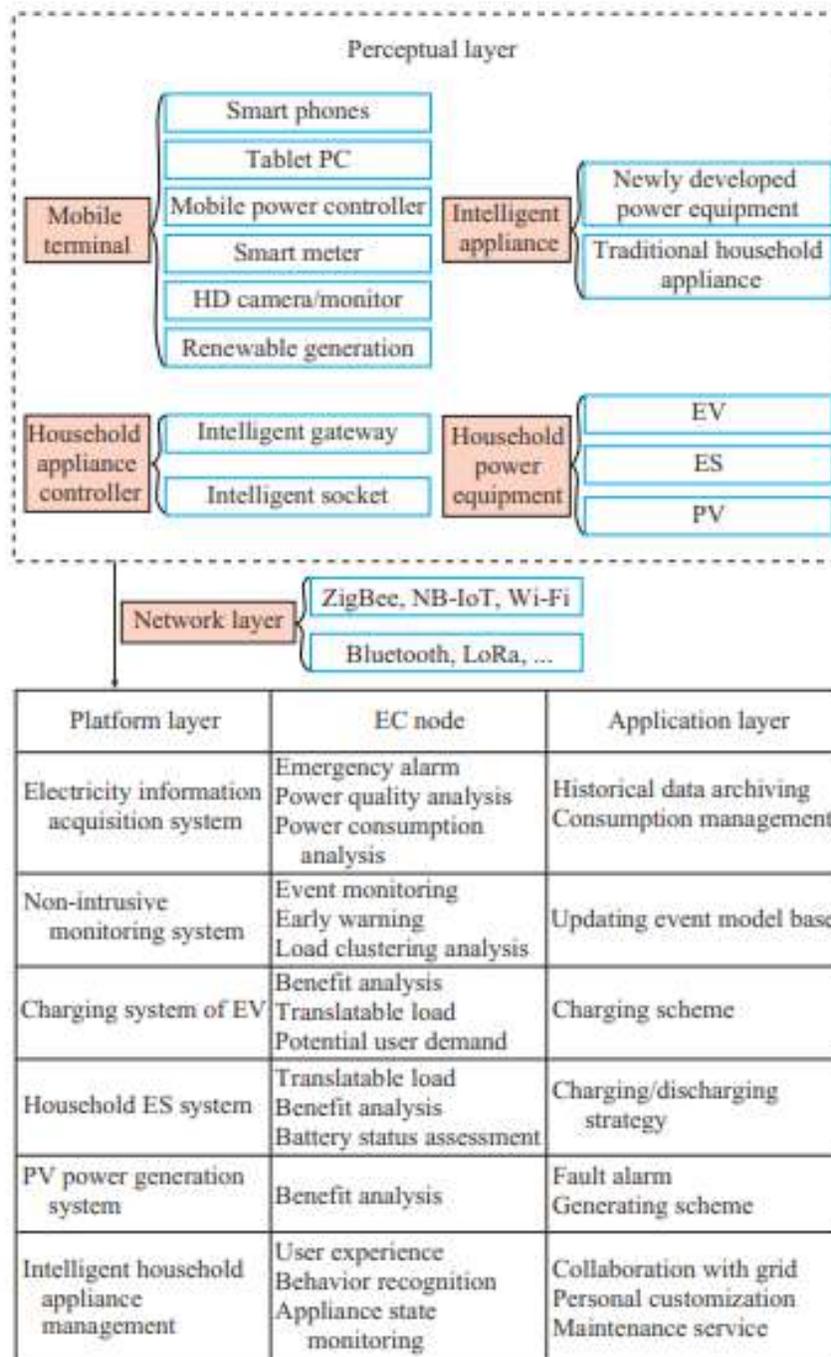


Figura 41: Struttura di un EC-CC in ambiente domestico

5 Selezione di scenari d'uso e dataset per la simulazione di utenze domestiche, industriali e del settore terziario

L'obiettivo di questa sezione è quello di descrivere in dettaglio alcuni casi d'uso rilevanti attraverso datasets reperibile in rete, relativamente al mondo domestico, terziario ed industriale.

I requisiti congeniali per la ricerca dei dataset sono stati i seguenti:

1. Frequenza di campionamento registrata nell'arco massimo di 15 minuti. In generale, minore è la frequenza di campionamento, più accurato il dataset rispetto ai casi d'uso;
2. Collocazione geografica su suolo italiano o su territori che presentano caratteristiche ambientali, meteorologici, industriali ed economici simili a quello italiano;
3. Numerosità del dataset con almeno 1 anno di misurazioni;
4. Ampio dettaglio di misurazioni disponibili, in particolar modo da asset provenienti da fonti rinnovabili.

5.1 DOMESTICO: Focus sui dati selezionati per lo scenario sperimentale

Si descrivono i dataset che raccolgono dati relativi al consumo energetico da parte di un nucleo familiare all'interno di un'abitazione domestica quale ad esempio villetta a schiera, casa indipendente, appartamento oppure un palazzo condominiale.

5.1.1 GREEND: An energy consumption dataset of households in Italy and Austria

Nel lavoro proposto da [MEE⁺14] è stato realizzato il dataset denominato **GREEND (GReend Electrical ENergy Dataset)** che fornisce uno scenario di consumo energetico domestico da parte di differenti famiglie che vivono in residenze costruite in Italia, precisamente nel Friuli Venezia Giulia e in Austria. Ad oggi si tratta dell'unico dataset, disponibile su rete pubblica, avente dati sul consumo energetico lungo il territorio italiano, sebbene si tratti di una sola regione.

Come evidenziano anche gli autori di GREEND, la scelta di misurare il consumo energetico in Italia è peculiare e, si differisce da dataset provenienti da stati internazionali quali Stati Uniti d'America e/o altri stati europei in quanto la raccolta dati e la misurazione dei consumi dipendono fortemente sia dalle condizioni climatiche, dal stile di vita e dai valori energetici impostati nei relativi stati di appartenenza.

Il dataset GREEND enfatizza la possibilità di esaminare differenti scenari e su differenti

applicazioni, indipendentemente dal luogo geografico e dalle condizioni meteorologiche. Per garantire tali generalità, è stata adottata una linea guida focalizzata sui seguenti parametri:

1. Features e caratteristiche del dataset
2. Selezione dei dispositivi
3. Selezione dei nuclei familiari
4. Periodo di raccolta dati

La raccolta dati è avvenuta con frequenza di campionamento ad 1Hz/s per favorire l'individuazione di più dispositivi installati in ciascuna abitazione, tenendo in considerazione quali sono quelli maggiormente utilizzati da un nucleo familiare.

Sono state coinvolte differenti tipologie di famiglie su differenti tipologie di residenze.

Il periodo di raccolta dati è avvenuta tra il Dicembre 2013 e il Dicembre 2014 a fasi di campionamento differenti a 7 mesi per poter osservare gli effetti del cambio stagione sul consumo energetico.

Il dataset GREEND è composto da 8 abitazioni, 4 presenti in Austria e 4 in Italia. In ciascuna di essi sono stati misurati, ad ogni secondo per 7 mesi, i consumi energetici di 9 dispositivi.

Focalizzandosi sulle abitazioni residenti in Italia, nel dettaglio si indicano le 4 abitazioni che differiscono tra loro per tipologia di abitazione, nucleo familiare e abitudini domestiche. Le residenze in Italia sono state indicate rispettivamente con ID4, ID5, ID6, ID7.

La casa ID4 è un appartamento di Udine. I residenti sono una giovane coppia, entrambi lavoratori, che spendono la maggior parte del tempo in casa solo la sera nei giorni infrasettimanali e differenti momenti della giornata nei weekend.

La casa ID5 è una casa indipendente di Colloredo di Prato (UD). I residenti sono una coppia formata da una casalinga e da un impiegato avente un figlio lavoratore di 30 anni, dove non vi è un riferimento specifico sul tempo domestico, pertanto, è plausibile che non sia stato individuato un particolare pattern.

La casa ID6 è una villetta a schiera di Udine. Il nucleo familiare è composto da una casalinga part-time, un lavoratore e 2 bambini, in cui non è specificata l'età ma si presuppone sotto i 12 anni. Anche in questo caso non vi è un riferimento specifico sul tempo domestico.

La casa ID7 è una casa indipendente di Basiliano (UD). I residenti sono una coppia di pensionato che spendono la maggior parte della giornata in casa.

Gli scenari che coinvolgono le abitazioni presenti su suolo austriaco sono i medesimi descritti, pertanto risultano ridondanti ai fini della descrizione del dataset.

In figura 42, sono elencati i dispositivi oggetto di misurazioni e la loro abitazione di appartenenza. La raccolta dati avviene attraverso una piattaforma basata su Raspberry

collegato, tramite WiFi Zigbee ad una batteria elettrica e da uno smart meter, costituito da 9 sensori, ognuna delle quali raccoglie misure di potenza dal dispositivo ad esso connesso.

House	Devices
0	Coffee machine, washing machine, radio, water kettle, fridge w/ freezer, dishwasher, kitchen lamp, TV, vacuum cleaner
1	Fridge, dishwasher, microwave, water kettle, washing machine, radio w/ amplifier, dryer, kitchenware (mixer and fruit juicer), bedside light
2	TV, NAS, washing machine, drier, dishwasher, notebook, kitchenware, coffee machine, bread machine
3	Entrance outlet, Dishwasher, water kettle, fridge w/o freezer, washing machine, hairdrier, computer, coffee machine, TV
4	Total outlets, total lights, kitchen TV, living room TV, fridge w/ freezer, electric oven, computer w/ scanner and printer, washing machine, hood
5	Plasma TV, lamp, toaster, stove, iron, computer w/ scanner and printer, LCD TV, washing machine, fridge w/ freezer
6	Total ground and first floor (including lights and outlets, with whitegoods, air conditioner and TV), total garden and shelter, total third floor.
7	TV w/ decoder, electric oven, dishwasher, hood, fridge w/ freezer, kitchen TV, ADSL modem, freezer, laptop w/ scanner and printer

Figura 42: Dispositivi nelle singole abitazioni

Il core della piattaforma è il server Monergy <https://www.monergy-project.aau.at/>, su cui eseguire attività di provisioning, schedulazione di raccolta, rilevazioni di eventuali guasti durante le misurazione ed infine archiviazione dati e funzionalità di backup.

In figura 43, è mostrata l'infrastruttura per la raccolta dati.

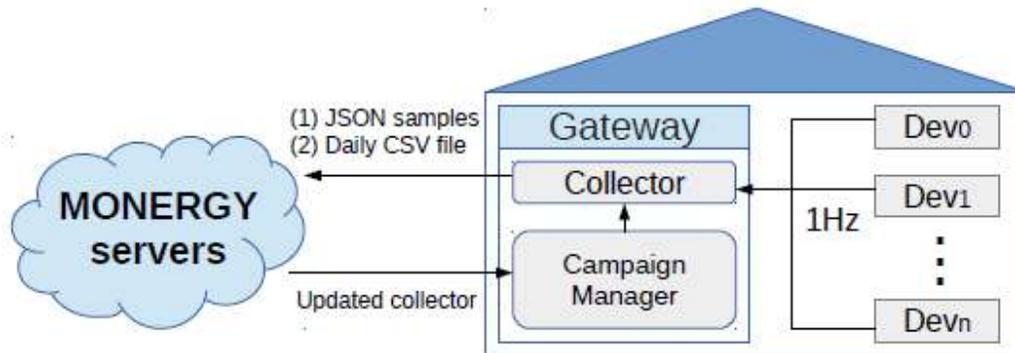


Figura 43: Infrastruttura per la creazione del GREEND Dataset

Pubblicamente, il dataset è reperibile su <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSf3Tbr7IDoSORM/viewform> in cui è necessario compilare un form per ottenere il consenso da parte degli autori ed eseguirne il download.

La capacità massima del dataset è di 15,8 GB ed è composta da 8 repository, una per ogni abitazione. Per ogni abitazione, ogni file rappresenta un singolo giorno di misurazione per tutto il periodo di raccolta dati.

5.1.2 Residential Power Traces for Five Houses: The iHomeLab RAPT Dataset

La creazione del dataset **iHomeLab RAPT** [HOF⁺20] iniziato nell'ambito del progetto Wizard (<https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=37341>) e tutt'ora in corso per il progetto Swiss Competence Center for Energy Research, Future Energy Efficient Buildings and Districts (SCCER FEEB&D) (<https://www.empa.ch/web/empa/sccer>) ha posto come obiettivo la distribuzione di una sorgente dati che descriva un scenario in cui il carico di energia elettrica erogata non solo è misurata per mezzo di dispositivi elettronici ma anche mediante fonti di energia rinnovabile, nello specifico energia solare.

Il dataset raccoglie dati provenienti da cinque case situate nella città di Lucerna, Svizzera. Ciascun fabbricato è dotato fino ad un massimo di 7 contatori con periodo di campionamento fissato a 5 minuti.

La Figura 44 contiene una panoramica delle abitazioni prese in considerazione, in cui sono raffigurati i dispositivi installati e il relativo cablaggio.

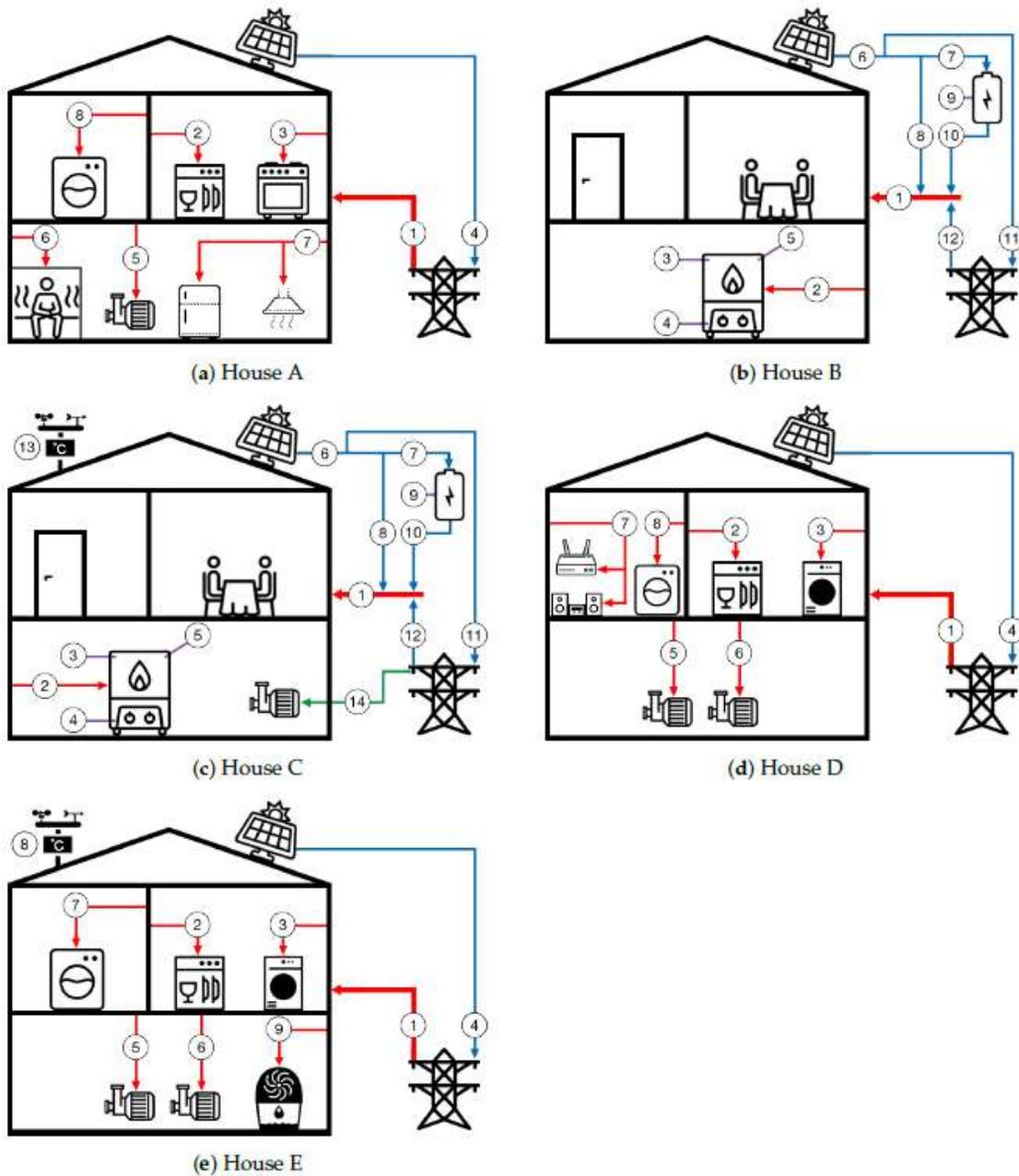


Figura 44: Schema abitazione di iHomeRAPT dataset

La lista dei sensori installati nelle singole abitazioni sono numerate e descritte nelle figure 45, 46. Per ogni sensore sono riportate l'unità di misura, la frequenza di campionamento originale e un identificativo che riporta alla tabella tecnica dei dispositivi e riportata in figura

47. Visionando il campionamento originale si nota che per la maggior parte dei dispositivi, la potenza erogata è stata sottoposta ad operazioni di sotto-campionamento per riportare tutti i valori al di sotto della frequenza di campionamento fissata a 5 minuti.

#	Description	Sensor Name	Unit	T _{orig}	M-id
House A					
1	total pc	A_total_cons_power	W	120 s	a
2	pc of dishwasher	A_dishwasher_power	W	120 s	b
3	pc of cooking, backing	A_stove_power	W	120 s	c
4	PV power production	A_exp_power	W	120 s	d, e ¹
5	pc of heat pump	A_hp_power	W	120 s	f
6	pc of several devices: sauna, steam shower, outdoor lighting	A_sauna_power	W	120 s	c
7	pc of several devices: fridge, comfort ventilation, central vacuum cleaner	A_additional_power	W	120 s	b
8	pc of washing machine	A_washing_machine_power	W	120 s	f
House B					
1	total pc	B_total_cons_power	W	300 s	g
2	pc of boiler	B_boiler_power	W	300 s	h
3	water boiler: temp. at the top	B_boilertemp_top	°C	300 s	i
4	water boiler: temp. at the bottom	B_boilertemp_bottom	°C	300 s	i
5	water boiler: on/off-status of heater 1, 2, 3 and thermostat ²	B_boiler_heater_*, B_boiler_on_thermostat	-	300 s _{ed}	j
6	total PV power production	B_pv_prod_power	W	300 s	g
7	from solar panel to battery	B_to_batt_power	W	300 s	g
8	pc from solar panel directly	B_direct_cons_power	W	300 s	g
9	battery charge state (100% = full)	B_batt_state	%	300 s	g
10	pc from battery	B_from_batt_power	W	300 s	g
11	from solar panel in grid	B_to_net_power	W	300 s	g
12	pc from grid	B_from_net_power	W	300 s	g
House C					
1	total pc	C_total_cons_power	W	120 s ³ 300 s	a, g ³
2	pc of boiler	C_boiler_power	W	300 s	h
3	water boiler: temp. at the top	C_boilertemp_top	°C	300 s	i
4	water boiler: temp. at the bottom	C_boilertemp_bottom	°C	300 s	i
5	water boiler: on/off-status of heater 1, 2, 3, thermostat, relay, utility ²	C_boiler_heater_*, C_boiler_on_*	-	300 s _{ed}	j

Figura 45: Dettaglio abitazioni A, B, C

#	Description	Sensor Name	Unit	T _{orig}	M-id
6	total PV power production	C_pv_prod_power	W	300 s	g
7	from solar panel to battery	C_to_batt_power	W	300 s	g
8	pc from solar panel directly	C_direct_cons_power	W	300 s	g
9	battery charging state (100% = full)	C_batt_state	%	300 s	g
10	pc from battery	C_from_batt_power	W	300 s	g
11	from solar panel in grid	C_to_net_power	W	300 s	g
12	pc from grid	C_from_net_power	W	300 s	g
	metering of solar radiation	C_solarlog_radiation	$\frac{W}{m^2}$	120 s	k
13	environmental data logged by weather station, see Table 3	C_weather_*	*	1 h	l
14	pc of heat pump	C_hp_power	W	120 s	a
14	ripple control signal for heat pump	C_hp_on_utility	-	ed	m
15	outdoor temperature next to sensor of heat pump	C_temperature_out	°C	120 s	i
House D					
1	total pc	D_total_cons_power	W	120 s	a
2	pc of dishwasher	D_dishwasher_power	W	60 s	n
3	pc of tumble dryer	D_tumble_dryer_power	W	60 s	n
4	PV power production	D_exp_power	W	120 s	d
5	pc of heat pump	D_hp_power	W	300 s	o
6	pc of rainwater pump	D_rainwater_power	W	60 s	n
7	pc of HiFi system and router	D_audio_wlan_og_power	W	60 s	n
8	pc of washing machine	D_washing_machine_power	W	60 s	n
House E					
1	total pc	E_total_cons_power	W	300 s	p
2	pc of dishwasher	E_dishwasher_power	W	60 s	n
3	pc of tumble dryer	E_tumble_dryer_power	W	60 s	n
4	PV power production	E_prod_power	W	300 s	p
5	pc of heating gas pump	E_gasheating_pump_power	W	60 s	n
6	pc of water pump of solar thermal collectors	E_solarheating_pump_power	W	60 s	n
7	pc of washing machine	E_washing_machine_power	W	60 s	n
8	environmental data logged by weather station, see Table 3	E_weather_*	*	1 h	l
9	pc of dehumidifier	E_dehumidifier_power	W	60 s	n

Figura 46: Dettaglio abitazioni C, D, E

M-id	Device Name	Details
a	L+G ZMD120AP	Meter installed by utility. Readout of pulse output (S0): 1000 impulses/kWh.
b	MCI single-phase	Readout of pulse output (S0): 1000 impulses/kWh.
c	ABB OD4165	Readout of pulse output (S0): 100 impulses/kWh.
d	L+G E350	Readout of pulse output (S0): 1000 impulses/kWh.
e	Elster AS3000	Readout of pulse output (S0): 1000 impulses/kWh.
f	Voltcraft DPM-314D	Readout of pulse output: 1000 impulses/kWh.
g	Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S	Inverter from Fronius (www.fronius.com) with an integrated logging system to monitor the various power flows through the device.
h	RPi Boiler Control Unit	Custom made boiler control unit implemented on a Raspberry Pi that switches the three individual heating elements of the boiler. The <code>boiler_power</code> is <i>calculated</i> based on the configured value of the nominal consumption of the switched-on heating elements. The control logic is documented in Section 4.4, house B.
i	Temp. Sensor DS1820	1-wire bus temperature sensor DS1820
j	Switch State Sensor	Sensor is connected to RPi Boiler Control unit. The information on the voltage drop over the switch is transformed in a binary state signal.
k	Tritec Spektron 320	Solar irradiation sensor from Tritec (www.tritec-energy.com). Measuring range 0-1500 W/m ² . Accuracy ±5% annual mean. Considering an area and efficiency of a solar panel, the output of the sensor can be used to calculate the generated power of a corresponding installation.
l	TFA My Weatherbox	Weather station from TFA (www.tfa-dostmann.de). Temperature sensors - accuracy: ±1 °C; humidity sensor-resolution: 1% RH, accuracy: ±5% RH.
m	Ripple Control	Ripple control signal as obtained from the utility company.
n	myStrom WiFi Switch (CH)	Smart plug from myStrom (mystrom.ch). Measuring range 2–2300 W. Accuracy ± < 1%.
o	Hager EC311	Readout of pulse output (S0): 10 impulses/kWh.
p	Solar-Log 1200	Monitoring and energy management system from Solar-Log (www.solar-log.com). It includes options to export data.

Figura 47: Scheda tecnica dei dispositivi

In ogni abitazione è registrato il consumo totale, l'energia prodotta dai pannelli solari, e il consumo di più dispositivi elettronici che variano a seconda del tipo di abitazione. In particolare modo, nelle abitazioni C ed E sono state installate delle stazioni meteorologiche locali in cui sensori sono in grado di captare, su base oraria, i parametri riepilogati in figura 48.

Description	Sensor Name	Unit	T _{orig}
House C			
indoor humidity	C_weather_humidity_in	RH	3600 s
outdoor humidity	C_weather_humidity_out	RH	3600 s
outdoor pressure	C_weather_pressure	mbar	3600 s
indoor temperature	C_weather_temperature_in	°C	3600 s
outdoor temperature	C_weather_temperature_out	°C	3600 s
House E			
indoor humidity	E_weather_humidity_in	RH	3600 s
indoor humidity in cellar	E_weather_humidity_cellar	RH	3600 s
outdoor humidity	E_weather_humidity_out	RH	3600 s
outdoor pressure	E_weather_pressure	mbar	3600 s
indoor temperature	E_weather_temperature_in	°C	3600 s
indoor temperature in cellar	E_weather_temperature_cellar	°C	3600 s
outdoor temperature	E_weather_temperature_out	°C	3600 s

Figura 48: Parametri misurati dalle stazioni meteorologiche locali delle abitazione C ed E

In generale, per tutte le abitazioni sono stati associati dati meteorologici ottenuti accedendo sul portale della Swiss Federal Office of Meteorology and Climatology, MeteoSwiss, previa registrazione su <https://gate.meteoswiss.ch/idaweb/login.do>. Questo servizio è gratuito per scopi didattici e di ricerca.

Il periodo di raccolta dati varia tra i 2 e i 4 anni con timestamp applicato su ora locale svizzera tenendo in considerazione l'ora solare (UTC+1:00h durante il semestre invernale novembre-marzo) e l'ora legale (UTC+2:00h durante il semestre estivo aprile-ottobre)

L'infrastruttura dati atti alla raccolta avviene seguendo due approcci differenti. Un primo metodo, consiste nel collegare i contatori ad un Raspberry PI che, attraverso uno script custom, è in grado di leggere le misurazioni, salvarle in un file, e caricarle su server FTP. Nella seconda tipologia di raccolta, sono stati installati dispositivi, batterie di accumulo di energia prodotta da impianti fotovoltaici e stazioni meteo professionali su rete WLAN con connessione WiFi. Una volta raccolte le misurazioni, essi sono stati salvati su file e caricate direttamente su server FTP.

Dopo la raccolta dati, gli autori hanno svolto operazione di Pre-Processing, in particolare attività di Data Trasformation e Data Cleaning in modo da fornire pubblicamente un dataset fruibile e privo di dati mancanti.

Il dataset iHomeLab RAPT è disponibile accendendo all'indirizzo <https://zenodo.org/>

record/3581895#.Y8ZsORXMKUk

5.1.3 Single household power profile related to grid by every 0.2sec

Il dataset reperibile su [AAA22] contiene le misurazioni di carico di una singola abitazione connessa ad una MG.

L'abitazione è composta da una serie di elettrodomestici, due pompe di calore aria, uno scaldabagno a flusso continuo trifase da 18 kW, pannelli solari da 6 kW e un caricabatterie da 2,5 kW per l'auto elettrica. I valori di energia elettrica sono raccolti con una frequenza elevata di 0.2 secondi per cinque mesi, precisamente da Aprile ad Agosto 2022. Non vi è alcuna menzione su come i dati sono stati raccolti, né l'ubicazione geografica dell'abitazione. Il dataset è stato strutturato in un formato tabellare e memorizzato su un file sql. Per accedere al file è necessario registrarsi al portale <https://ieee-dataport.org/>.

5.1.4 OPSD: Household Data in Germany

La piattaforma **OPSD (Open Power System Data)** <https://open-power-system-data.org/> è una sistema di data repository accessibile gratuitamente, con lo scopo di fornire dati pronti per l'uso per quanto concerne la progettazione di impianti d'alimentazione.

Tra i numerosi prospetti presenti all'interno della piattaforma, è disponibile il dataset inerente al progetto CoSSMic (Collaborating Smart Solar-powered Microgrids) utilizzato per la realizzazione di sistemi autonomi in grado di gestire l'autoconsumo di una MG [ADMSV15]. Il dataset descrive il comportamento sul consumo elettrico degli utenti presenti in undici edifici della città di Kostanz, Germania. I fabbricati oggetto di analisi riguardano edifici che sono in grado di importare ed esportare energia dalla e verso la MG e sono dotati di pannelli solari per l'accumulo di energia da fonte rinnovabile. I complessi considerati sono capannoni e grandi magazzini, istituti e scuole ed infine abitazioni residenziali presenti nell'area urbana e suburbana.

Le misurazioni fanno riferimento sia al carico accumulato dai singoli dispositivi che dall'energia trasmessa dai dispositivi stessi. Tali misurazioni, espresse in kWh, sono state condotte in una serie di intervalli temporali fissati a 1 minuto, 15 minuti e 60 minuti da Dicembre 2014 a Maggio 2019.

Il dataset è disponibile presso l'indirizzo https://data.open-power-system-data.org/household_data/

5.2 TERZIARIO: Focus sui dati selezionati per lo scenario sperimentale

Come settore terziario si intende tutti gli scenari di consumo energetico che coinvolgono grandi edifici adibiti ad uso economico, prevalentemente con servizi destinati alla vendita di beni nei confronti dei clienti. Un esempio pratico può essere un centro commerciale, un ospedale o un campus universitario.

5.2.1 CU-BEMS: Smart building electricity consumption and indoor environmental sensor datasets

L'obiettivo di ricerca posto da [PM20] è il monitoraggio del consumo di energia all'interno di edifici dotati di Smart Meter.

Per far fronte a tale esigenza è stato ideato **CU-BEMS (Chulalongkorn University Building EMS)**, software per la gestione del consumo energetico finanziato dal Ministero dell'energia thailandese e progettato dal team di ricerca SGRU (SG Research Unit) in collaborazione con l'Università di Tokyo.

Nell'articolo scientifico viene documentata la raccolta e all'archiviazione dei dati del CU-BEMS presso l'edificio Chamchuri 5, una delle sedi amministrative dell'Università di Chulalongkorn, in breve Chula, a Bangkok in Thailandia.

In figura 49 è mostrata una panoramica del Chamchuri 5, mentre in figura 50 si mostra l'installazione del CU-BEMS.



Figura 49: Chamchuri5



Figura 50: Hardware CU-BEMS

Il Chamchuri 5 è un edificio accademico a 7 piani, avente una superficie di circa 11.700 mq con carico massimo di 700kW. Il primo e il secondo piano sono composte da 4 zone, mentre dal terzo fino al settimo ed ultimo piano sono presenti 5 zone. In figura 51 è mostrata la suddivisione delle zone in ogni piano e la collocazione dei sensori installati.

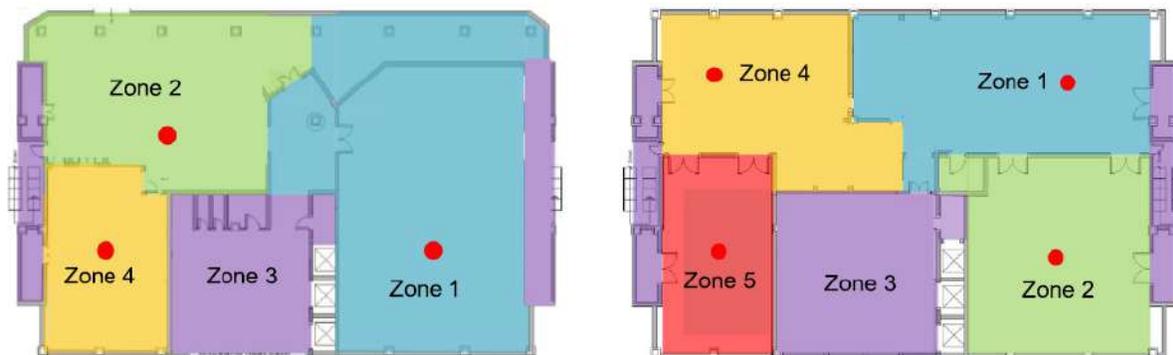


Figura 51: Locazione dei sensori installati nei piani 1-2 (sx), 3-7 (dx) del Chamchuri 5

Il dataset CU-BEMS è suddiviso in primis dal tempo di raccolta, avvenuta negli anni 2018 e 2019 con frequenza di campionamento fissata a 1 minuto. Infine, per ogni anno solare sono stati realizzati 7 file in formato CSV con valori separati da virgola, uno per ogni piano dell'edificio. Per ogni piano dell'edificio e per ogni zona, sono state misurate due principali categorie di valori: consumi elettrici e sensori ambientali posti all'interno dell'edificio. Nel primo caso, il consumo energetico del singolo piano comprende le seguenti misurazioni, espresse in kW:

1. Aria condizionata
2. Carico di illuminazione
3. Carico della spina (Plug Load)

I sensori ambientali considerati sono:

1. Temperatura interna, espressa in °C
2. Umidità, espressa in %
3. Luce ambientale, espressa in lux

Non sono stati considerati carichi di energia elettrica quali ascensori e segnali di uscita di emergenza in quanto rappresentano una bassa percentuale di carico sull'intero edificio.

Il numero di features di ciascun dataset è differente e varia a seconda del numero delle fonti elettriche installati su ogni piano. In figura 51 è indicato uno schema dettagliato.

File name	Zone No.	AC	Light	Plug	Sensor	No of Data Columns
Floor1.csv	Zone 1	0	1	0	0	11
	Zone 2	4	1	1	0	
	Zone 3	0	1	1	0	
	Zone 4	0	1	1	0	
Floor2.csv	Zone 1	1	1	1	3	36
	Zone 2	14	1	1	3	
	Zone 3	0	1	1	3	
	Zone 4	1	1	1	3	
Floor3.csv	Zone 1	4	1	1	3	29
	Zone 2	1	1	1	3	
	Zone 3	0	1	1	0	
	Zone 4	1	1	1	3	
	Zone 5	1	1	1	3	
Floor4.csv	Zone 1	4	1	1	3	29
	Zone 2	1	1	1	3	
	Zone 3	0	1	1	0	
	Zone 4	1	1	1	3	
	Zone 5	1	1	1	3	
Floor5.csv	Zone 1	4	1	1	3	29
	Zone 2	1	1	1	3	
	Zone 3	0	1	1	0	
	Zone 4	1	1	1	3	
	Zone 5	1	1	1	3	
Floor6.csv	Zone 1	1	1	1	3	29
	Zone 2	1	1	1	3	
	Zone 3	0	1	1	0	
	Zone 4	4	1	1	3	
	Zone 5	1	1	1	3	
Floor7.csv	Zone 1	4	1	1	3	29
	Zone 2	1	1	1	3	
	Zone 3	0	1	1	0	
	Zone 4	1	1	1	3	
	Zone 5	1	1	1	3	
TOTAL	All zones	55	33	32	72	192

Figura 52: Features di ciascun dataset

In figura 53 è illustrata l'architettura atta all'acquisizione delle misurazioni dai sensori installati nell'edificio.

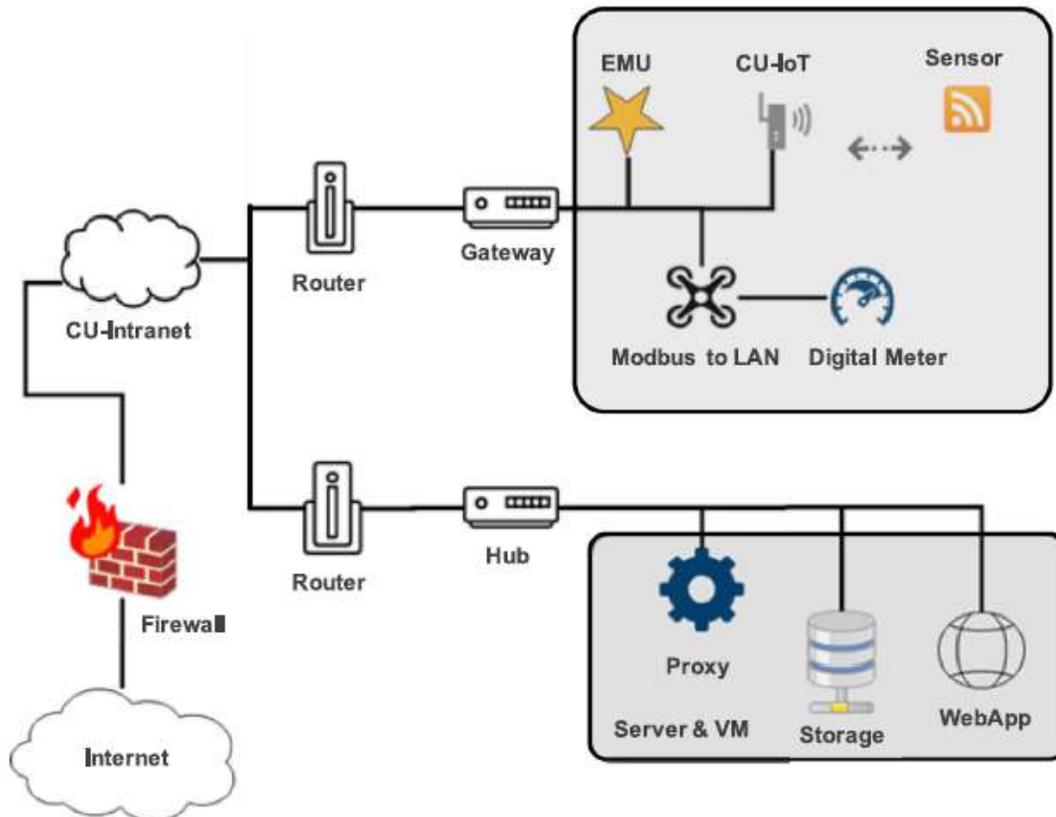


Figura 53: Architettura CU-BEMS

Il dataset è disponibile su <https://sgrudata.github.io/>, mentre su <https://www.bems.chula.ac.th/web/cham5/#/> è possibile visionare l'andamento dei consumi del Chamchuri 5.

5.2.2 A comparison of non-intrusive load monitoring methods for commercial and residential buildings

Il dataset **COMBED (COMmercial Building Energy Dataset)** [BPB+14] è stato realizzato dagli autori per confrontare metodi per il monitoraggio non invasivo di carichi elettrici, ossia il processo su cui si osservano diversi fenomeni quali il consumo totale di energia, le variazioni di tensione e di corrente nel tempo al fine di ottenere una stima di energia elettrica

consumata dai singoli dispositivi distribuiti su un edificio o su un'abitazione domestica. L'edificio utilizzato per la sperimentazione e per la costruzione del dataset è il IIT (Indraprastha Institute of Information Technology) Delhi, un'università statale situata a Nuova Delhi, in India. In figura 54 è mostrata una panoramica del complesso.



Figura 54: IIT (Indraprastha Institute of Information Technology) Delhi

Il campus è composto da 8 edifici, ciascuno delle quali adibite in base alla loro funzionalità. Vi è dunque il plesso dedicato alle conferenze scientifiche, lezioni universitarie, servizio mensa, segreteria didattica, alloggio degli studenti e uffici docenti. All'interno del campus sono stati montati più di 200 Smart Meter in cui è stato possibile eseguire la raccolta dati sul consumo energetico.

Per ogni edificio, sono stati monitorati il consumo energetico totale, il consumo totale per ogni piano (da quel che ho capito non è specificato quanti piani ci sono), i carichi ad alto consumo energetico quali ad esempio UTA, ascensori e UPS. Inoltre, sono stati monitorati separatamente alcuni carichi che riforniscono l'intero campus, come il refrigeratore HVAC o le pompe HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning).

Il periodo di raccolta va da Agosto 2013 fino ad Agosto 2014 con intervallo di campionamento fissato su 30 secondi. Tuttavia solo la zona accademica e la biblioteca, considerati simili agli uffici per carico di energia IT e HVAC erogata, sono stati rilasciati pubblicamente sotto forma di dataset in formato csv sul portale GitHub indicato nel seguente indirizzo <https://combed.github.io/>.

5.2.3 Electrical consumption forecasting in hospital facilities: An application case

L'ambito sanitario è uno dei settori che maggiormente può trarre beneficio dalla gestione ottimale dell'energia elettrica. Infatti, nelle strutture ospedaliere risulta fondamentale misurare e gestire l'energia elettrica per garantirne il corretto approvvigionamento e funzionamento, soprattutto laddove ci sia la presenza di variabili incerte caratterizzate da fonti di energia

rinnovabile.

Nel lavoro proposto da [BFS+15], è stato realizzato un modello di AI basato su reti neurali ANN (Artificial Neural Network) per la gestione e predizione del consumo energetico della Humanitas Cellini, vedasi in figura 55, clinica medica situata a Torino.



Figura 55: Humanitas Cellini, Torino

Il complesso possiede una superficie totale di 9500 mq ed è suddivisa in 3 blocchi principali, su cui sono stati raccolti i dati di consumo di energia elettrica.

Il periodo di campionamento è stato fissato a 15 minuti e i dati raccolti fanno riferimento all'intero anno solare 2012.

Gli autori sottolineano l'importanza della raccolta dati per almeno un anno solare poiché in questo modo è stato fondamentale scoprire pattern tra i dati in virtù della forte correlazione che sussiste tra il consumo energetico e la stagione di riferimento.

Dalle analisi, risulta che il consumo energetico in estate è superiore del 30% rispetto a quello invernale, con picchi compresi tra 600 kW e 650 kW.

Ciò è avvenuto soprattutto a causa del frequente utilizzo di diversi dispositivi come l'aria condizionata, assente nei mesi invernali. In tal stagione, i picchi di carico sono compresi tra 450 kW e 480 kW.

Per l'addestramento della rete neurale sono stati adottati due differenti datasets. La differenza sostanziale tra i due dataset è l'assenza della temperatura misurata a Torino nelle 24 ore precedenti nel dataset A.

Mentre in entrambi i dataset le variabili presenti sono le seguenti:

1. Tempo della giornata nell'intervallo dei 15 minuti
2. Giorno della settimana
3. Carico medio in kWh nelle 24 ore precedenti
4. Carico in kWh nelle 24 ore precedenti
5. Carico in kWh nei 7 giorni precedenti
6. Giornata infrasettimanale o festiva

Il dataset attualmente non risulta reperibile in rete.

5.3 INDUSTRIALE: Focus sui dati selezionati per lo scenario sperimentale

Nella sezione industriale, sono indicati tutti gli scenari di consumo energetico in cui si registrano attività pertinenti alla creazione di beni e materie prime. Associati a tali industrie, si ipotizza la presenza di turbine eoliche e sistemi fotovoltaici per l'estrazione di energia da fonte rinnovabile, rispettivamente energia eolica ed energia solare.

5.3.1 Electricity DSM of small food processing company, one small paper industry and one medium-large paper producing company

Negli ultimi anni sta assumendo maggior rilievo l'importanza dei dati sintetici, ossia dati creati artificialmente per simulare scenari reali laddove i dati concreti o non sono disponibili a causa delle normative vigenti per il trattamento dei dati sensibili o, se disponibili, in una quantità ridotta tale da rendere inefficaci algoritmi di AI le cui performance dipendono soprattutto dal numero elevato di osservazioni in un dataset. I dati sintetici permettono dunque di superare tali limiti burocratici ed etici. Sebbene i dati sintetici siano un'imitazione e non rispecchiano appieno la realtà, essi possono essere considerati comunque affidabili poiché essendo svincolati da risvolti etici essi risultano equilibrati, imparziali e di alta qualità.

Il paper realizzato da [VR21] fornisce le informazioni relative a datasets realizzati tramite dati sintetici in un contesto industriale riguardanti un'azienda agroalimentare e due aziende cartiere per la produzione della carta.

I dataset sintetici sono stati riprodotti a partire dall'analisi di dati reali appartenenti ad industrie presenti in Cile mediante algoritmi di clustering realizzato dallo stesso autore [VMDR21].

Sono stati rilasciati tre dataset, ciascuno per ogni singola azienda, dove sono stati memorizzati i profili di carico su una serie temporali orario per un periodo di un anno.

Le features presenti nel dataset contengono l'informazione temporale rispettivamente come giorno della settimana, mese, ora, i cluster relativi al profilo di carico a cui sono associati i dati ed il profilo di carico, espresso in kW, suddiviso nei valori di minima, massima e media normalizzati nell'intervallo 0,1

Il profilo effettivo si ottiene moltiplicando ciascun valore per il carico massimo dell'azienda contrattato con il provider di energia.

I dataset sono pubblici e reperibili al seguente indirizzo <https://data.mendeley.com/datasets/ttx9chkdcg/1>

5.3.2 Wind Turbine Power (kW) Generation Data

Il seguente dataset, disponibile presso il portale Kaggle <https://www.kaggle.com/datasets/psycon/wind-turbine-energy-kw-generation-data>, raccoglie tutte le informazioni in me-

rito al funzionamento di una turbina eolica nel periodo che va da Settembre 2019 ad Agosto 2021 con frequenza stabilita a 10 minuti.

Non viene menzionato dall'autore del dataset la locazione della turbina eolica ed attualmente, non vi é un riferimento ad un articolo scientifico che attesti la veridicità dei dati.

Il dataset viene comunque menzionato in quanto si differisce da altri dataset inerenti a turbine eoliche, per la presenza di numerose features.

Infatti, oltre alla potenza energetica prodotta dalla turbina, sono presenti altre informazioni, precisamente 77 features, anche molto tecniche che rappresenterebbero al meglio lo stato di una turbina eolica. Tra queste si parte di componenti fisici quali il motore, il rotore, la torre, eppure grandezze fisiche come temperatura, potenza reattiva e grandezze geometriche come l'inclinazione.

In figura 56 si mostra l'elenco delle feautres che compongono il dataset.

Timestamp	Gearbox_T1_High_Speed_Shaft_Temperature	Gearbox_T3_High_Speed_Shaft_Temperature	Gearbox_T1_Intermediate_Speed_Shaft_Temperature	Temperature Gearbox Bearing Hollow Shaft	
Tower Acceleration Normal	Gearbox_Oil-2_Temperature	Tower Acceleration Lateral	Temperature Bearing_A	Temperature Triso-1	
Gearbox_T3_Intermediate_Speed_Shaft_Temperature	Gearbox_Oil-1_Temperature	Gearbox_Oil_Temperature	Torque	Converter Control Unit Reactive Power	
Temperature Triso-2	Reactive Power	Temperature Shaft Bearing 1	Gearbox_Distributor_Temperature	Moment D Filtered	
Moment D Direction	Ni-set 1	Operating State	Power Factor	Temperature Shaft Bearing 2	Temperature_Nacelle
Voltage A-N	Temperature Axis Box 3	Voltage C-N	Temperature Axis Box 2	Temperature Axis Box 1	Voltage B-N
Nacelle Position_Degree	Converter Control Unit Voltage	Temperature Battery Box 3	Temperature Battery Box 2	Temperature Battery Box 1	
Hydraulic Pressure	Angle Rotor Position	Temperature Tower Base	Pitch Offset-1 Asymmetric Load Controller	Pitch Offset Tower Feedback	
Line Frequency	Internal Power Limit	Circuit Breaker cut-ins	Particle Counter	Tower Acceleration Normal Raw	
Torque Offset Tower Feedback	External Power Limit	Blade-2 Actual Value_Angle-B	Blade-1 Actual Value_Angle-B	Blade-3 Actual Value_Angle-B	
Temperature Heat Exchanger Converter Control Unit	Tower Acceleration Lateral Raw	Temperature Ambient	Nacelle Revolution	Pitch Offset-1 Asymmetric Load Controller	
Tower Deflection	Pitch Offset-3 Asymmetric Load Controller	Wind Deviation 1 seconds	Wind Deviation 10 seconds	Proxy Sensor_Degree-110	
State and fault	Proxy Sensor_Degree-220	Blade-3 Actual Value_Angle-A	Scope CR 4	Blade-2 Actual Value_Angle-A	
Blade-1 Actual Value_Angle-A	Blade-2 Set Value_Degree	Pitch Demand Baseline_Degree	Blade-1 Set Value_Degree	Blade-3 Set Value_Degree	
Moment Q Direction	Moment Q Filtered	Proxy Sensor_Degree-40	Turbine State	Proxy Sensor_Degree-315	

Figura 56: Features Wind Turbine Power Dataset

5.3.3 SCADA system dataset exploration and machine learning based forecast for wind turbines

Nell'analisi predittiva svolta da [SR22] è stato condotto uno studio sul comportamento dell'energia eolica generata da turbine eoliche, focalizzandosi sull'analisi esplorativa dei dati storici nel sistema di coordinate polari e cartesiane e su algoritmi di ML forecasting quali Long Short Term Memory (LSTM), Random Forest (RF) e Extreme Gradient Boosting (XGBoost) che, sfruttando la capacità di individuare pattern significativi su un fenomeno non lineare, sono in grado di fornire previsioni sul carico elettrico nel breve tempo e con un livello di accuratezza superiori rispetto a modelli puramente fisici e statistici-matematici.

Il dataset oggetto di analisi nella pipeline di data mining, descrive l'andamento di turbine eoliche situato nel parco eolico di Yalova, regione settentrionale della Turchia.

I dati sono stati acquisiti da sistemi SCADA con intervallo di campionamento fissato a 10 minuti sull'intero anno solare 2018.

I dati raccolti includono:

- Data e ora

- Velocità del vento, espresso in m/s.
- Direzione del vento, espresso in gradi.
- Carico elettrico, misurato in kW, la variabile di studio.
- Potenza teorica, misurata in kWh, derivante dalla velocità del vento e l'energia cinetica.

Il dataset è disponibile presso il portale Kaggle <https://www.kaggle.com/datasets/berkerisen/wind-turbine-scada-dataset>.

L'analisi esplorativa mostra come le variabili hanno influenzato l'andamento del carico elettrico, in particolar modo le coordinate polari, individuano una forte relazione tra la potenza generata dalla turbine eoliche con la direzione e la velocità del vento. Infatti, le turbine eoliche producono maggiore elettricità quando il vento soffia da direzioni comprese tra 180 e 225° e 0-90°, come mostrato dalla dimensionalità delle bolle in figura 57.

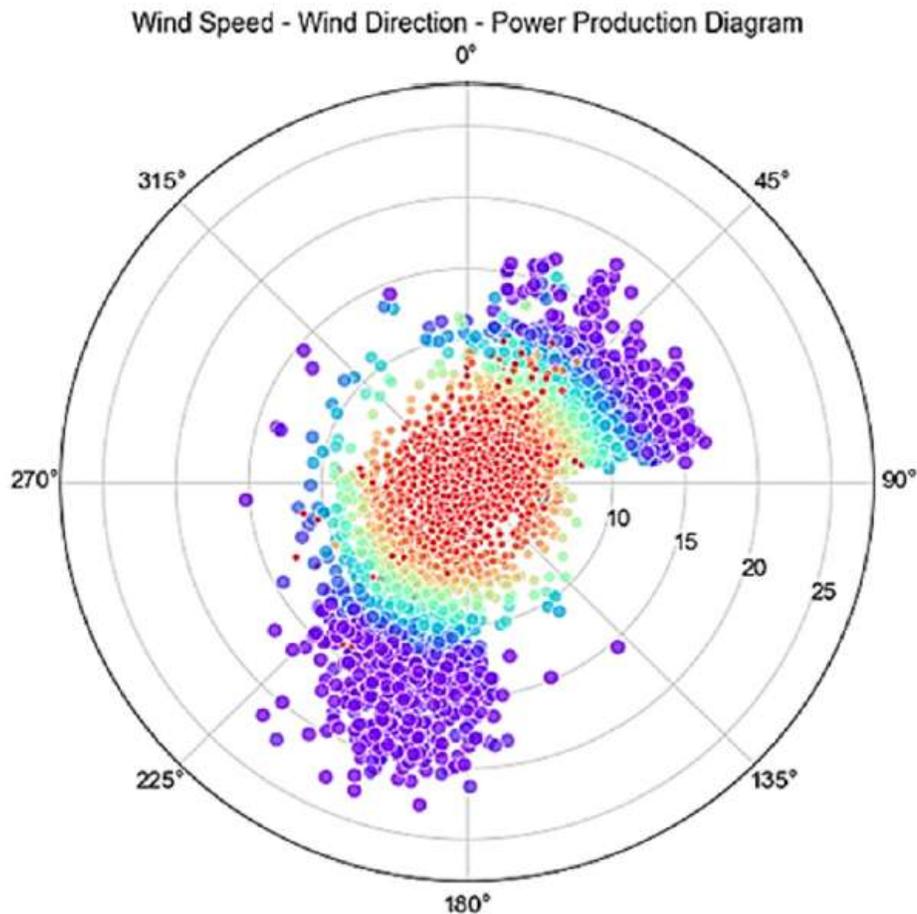


Figura 57: Coordinate polari delle turbine eoliche

5.3.4 Wind Energy Dataset from Four German Power Companies

Il dataset pubblicato da [Sim21] raccoglie dati di carico di energia elettrica prodotta da turbine eoliche appartenenti alle quattro compagnie - 50 Hertz, Amprion, TenneT TSO e TransnetBW - di maggior riferimento per la trasmissione dell'energia elettrica in Germania. Il dataset è suddiviso in quattro file, ciascuno per ogni gestore, dove i dati relativi alla produzione energetica nazionale, espressa in THw, sono stati registrati ogni 15 minuti, da Agosto 2019 a Settembre 2020.

5.3.5 PV Plant Power Nowcasting: A Real Case Comparative Study With an Open Access Dataset

Un sostanzioso contributo sulla disponibilità di dataset pubblici inerenti al consumo energetico da fonti rinnovabili su suolo italiano va attribuito a [LNP+20].

Gli autori hanno fatto luce sulle difficoltà di dover applicare tecniche di NowCasting atte ad eseguire previsioni sul carico fotovoltaico su diversi orizzonti temporali e su differenti frequenze di campionamento, se non vi è un dataset affidabile ed adattabile al caso d'uso.

Di conseguenza, è stato realizzato un dataset nella quale sono stati raccolti dati di produzione fotovoltaica dell'impianto SolarTech Lab del Politecnico di Milano, come mostrato in figura 58. Ad esso sono state aggiunte le misurazioni meteorologiche per rendere il dataset più reale possibile e per sviluppare modelli previsionali più accurati.



Figura 58: Impianto SolarTech Lab del Politecnico di Milano

Nonostante il SolarTech Lab disponga di diverse tecnologie in ambito fotovoltaico, è stato considerato un pannello monocristallino orientato con potenza nominale 245 Wp. L'inclinazione è di 30° con e azimut pari a $-6^\circ 30'$ supponendo che 0° sia il sud ovest.

Le misurazioni sono avvenute nell'anno 2017 ma, a causa di varie occorrenze come guasti e disconnessioni, non tutti i giorni sono stati oggetto di analisi.

La stazione meteorologica, mostrato in figura 59, è installato nelle vicinanze del campo fotovoltaico presenta una serie di piranometri per misurare l'irraggiamento solare, la radiazione diffusa e la radiazione globale, un termoigrometro per misurare l'umidità relativa e la temperatura dell'aria, l'anemometro per rilevamento vento in termini di velocità e direzione, pluviometro per raccogliere e misurare la quantità di precipitazioni liquide. La frequenza di raccolta è di circa 10 secondi e un data logger ha il compito di raccogliere tutte le misurazioni.

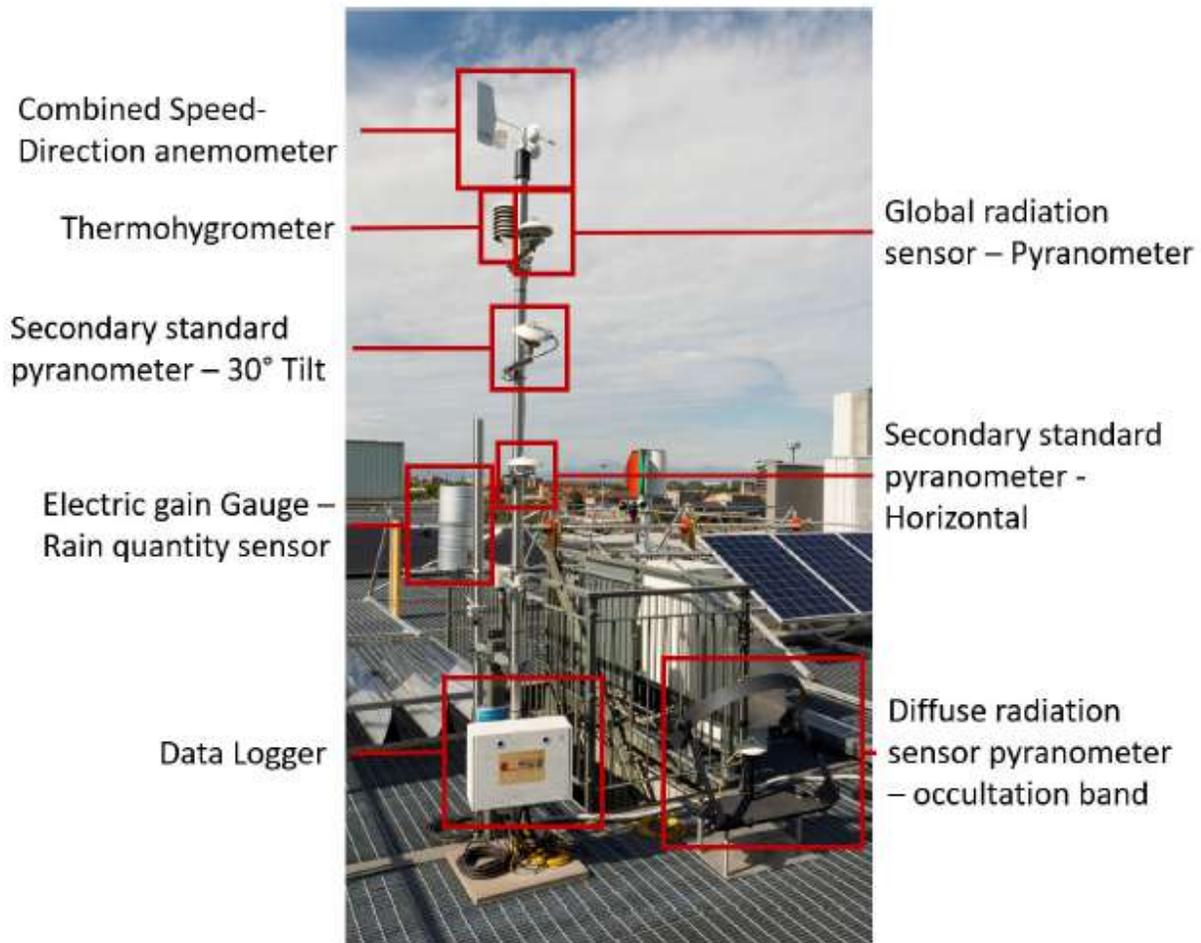


Figura 59: Stazione meteorologica del SolarTech Lab

Nel dettaglio, il dataset è composto dalle seguenti features:

1. Timestamp in formato 'dd-MM-yyyy hh:mm:ss', espressa in Central European Time (CET), senza tener conto del cambio orario legale-solare.
2. Potenza rilevata dal modulo fotovoltaico espresso in (W) con modulo inclinazione a 30°.
3. Temperatura ambiente espressa in (C).
4. Radiazione globale espressa in (W/m2)

5. Irraggiamento globale espressa in (W/m²) su piano inclinato a 30°.
6. Velocità del vento in (m/s)
7. Direzione del vento (°)

La risoluzione temporale è di 1 minuto. In figura 60 è mostrato uno snippet del dataset.

Timestamp	P_m (W)	T_{air} (°C)	GHI (W/m ²)	$GPOA$ (W/m ²)	W_s (m/s)	W_d (°)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25/02/2017 10:00	158,7	8,97	432	684	0,58	153,6
25/02/2017 10:01	156,6	9,03	435	687	0,63	167,8
25/02/2017 10:02	156,6	8,97	435	686	1,54	58,7
25/02/2017 10:03	156,6	9,23	438	693	0,14	258,1
25/02/2017 10:04	160,0	9,40	442	698	0,79	349,8
25/02/2017 10:05	160,0	9,35	445	702	2,18	54,6
25/02/2017 10:06	159,5	9,33	444	704	2,39	58,0
25/02/2017 10:07	160,2	8,90	446	703	1,43	56,6
25/02/2017 10:08	164,2	9,01	447	707	1,59	68,8
25/02/2017 10:09	164,2	8,69	461	726	2,23	71,6
25/02/2017 10:10	164,6	8,45	461	725	2,28	76,8
25/02/2017 10:11	166,3	8,56	459	724	0,79	152,3
25/02/2017 10:12	166,3	9,28	462	731	1,65	71,0
25/02/2017 10:13	166,3	9,03	467	737	0,47	138,4
25/02/2017 10:14	166,6	9,15	468	737	1,86	124,8
25/02/2017 10:15	166,6	8,58	468	736	0,95	65,4
25/02/2017 10:16	166,2	8,52	468	736	0,47	54,2
25/02/2017 10:17	164,9	8,76	468	735	0,63	4,8
25/02/2017 10:18	164,9	8,95	462	727	0,00	0,1
25/02/2017 10:19	164,9	9,39	464	730	0,68	10,7
25/02/2017 10:20	167,4	9,53	470	738	1,01	35,6
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Figura 60: Dataset SolarTech Lab

Il dataset è composto da differenti file e contiene le misurazioni nello stato originale di raccolta. I dati pubblici, diversamente da quanto svolto dagli autori nel proprio progetto di ricerca, si trovano in stato grezzo e non sono stati sottoposti ad operazioni di pre-processing. In questo modo, incentiva gli utenti che usufruiranno il dataset ad arricchirlo e a manipolarlo secondo le loro esigenze di ricerca.

Il dataset è disponibile pubblicamente accedendo al portale <https://ieee-dataport.org/open-access/photovoltaic-power-and-weather-parameters> cui necessita registrazione utente.

6 Definizione dei requisiti per la progettazione dell'architettura InSite-Cloud

La realizzazione dell'architettura Cloud del progetto InSite avviene attraverso la definizione dei requisiti funzionali e tecnici impostati su un'astrazione ad alto livello, offrendone una panoramica della soluzione ipotizzata. Successivamente, tali requisiti verranno affinati in fase di sviluppo lungo il ciclo di vita applicativo, favorendo ed incentivando i principi della metodologia Agile.

6.1 Analisi dei requisiti di business

I requisiti di business indicano quali sono gli obiettivi scientifici e tecnologici che, in linea con le esigenze aziendali, un progetto vuole soddisfare. Si definisce un'analisi AS IS (così com'è) del dominio applicativo in cui si descrive lo stato corrente e le problematiche che il progetto intende risolvere, per poi postulare un nuovo modello TO BE (come sarà). Il raggiungimento di tale modello deve garantire dei benefici che mirano ad un effettivo progresso rispetto allo stato dell'arte.

Il progetto InSite punta al miglioramento della filiera dell'energia elettrica, in particolar modo nell'ambito dell'EM. Nella fase di trasmissione dell'energia elettrica, le SG sono controllate da sistemi tradizionali di tecnologia non IoT basati su SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Si tratta di un sistema informatico utilizzato su impianti di produzione o su processi industriali, come nel caso del settore energetico. La responsabilità di un sistema SCADA è il monitoraggio in tempo reale degli asset attraverso sensori e dispositivi di controllo per poi acquisire ed inviare i dati raccolti verso un server dedicato PLC (Programmable Logic Controller), che elabora le istruzioni fornite da SCADA stesso ed esegue tali comandi sulla SG, quali l'arresto o l'avvio di un asset. I sistemi SCADA sfruttano determinati protocolli di comunicazione e trasmissione quali OPC-UA (Open Platform Communications - Unified Architecture) e Modbus TCP (Transmission Control Protocol) [Di120]. La figura 61 mostra una peculiare architettura SG controllata da SCADA.

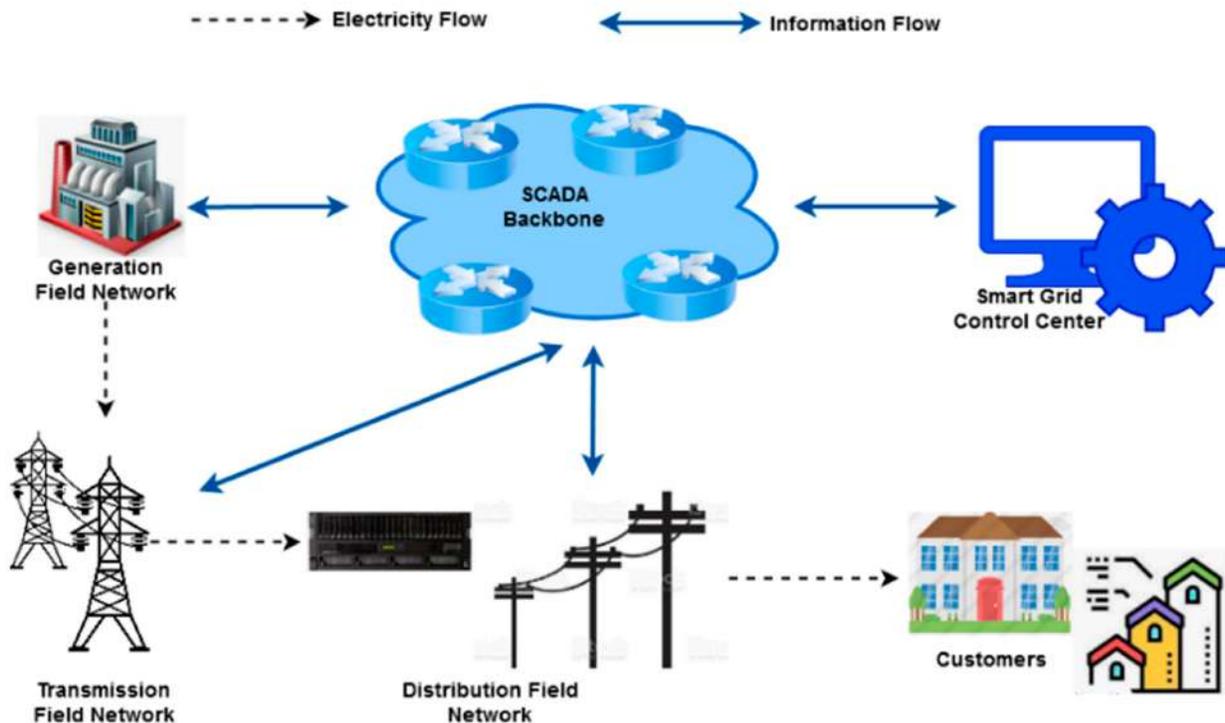


Figura 61: Architettura SCADA SG [RBKS22]

Tuttavia, i sistemi SCADA presentano una serie di limitazioni che impattano sulle prestazioni della SG stessa. Nello specifico le più significative risultano:

- Le logiche di controllo cablate e tarature manuali difficilmente possono rispondere alle variazioni delle risorse energetiche presenti in una SG. In particolare dalle fonti rinnovabili, di natura imprevedibili [SKM⁺20].
- Difficoltà nell' eseguire attività di ottimizzazione e previsione di una SG che necessitano una risoluzione a brevissimo termine.
- Bassa resilienza in quanto non è in grado di gestire in maniera ottimale tutte le situazioni che comportino interruzioni sulla rete elettrica causati da guasti o black-out [LS17];
- Non adeguati e poco protetti in termini di cybersecurity, con alta probabilità di mirati attacchi informatici sulla SG [SBAM20].

Il superamento dei limiti delle SG controllate dai sistemi SCADA garantirebbero un'ottimizzazione sull'intero processo di gestione dell'energia elettrica. Alla luce delle problematiche

riscontrate, emerge la domanda di un nuovo livello di automazione che integri le tecnologie industry 4.0.

La soluzione proposta, consiste nell'implementazione di un EMS sperimentale che nella sua interezza e complessità, presenta le analoghe caratteristiche apprese dallo stato dell'arte per l'ecosistema architetturale e le soluzioni EC-CC sulla gestione di SG ma al tempo stesso mira ad affrontare le sfide attualmente più rilevanti per l'esercizio ottimale, la resilienza e sicurezza delle SG. Pertanto, i moduli hardware e software che compongono l'intera soluzione sono:

- **MicroGrid:** come indicato nel background teorico, la MG può essere definita come una rete elettrica autonoma che aggrega fonti locali di generazione distribuita insieme a dispositivi di accumulo di energia e carichi controllabili e può operare sia con la rete elettrica e sia in maniera indipendente, in modo da formare un sistema energetico auto-sufficiente. Comunica bidirezionalmente con IoT-EMS. Corrisponde al livello Physical dell'ecosistema architetturale.
- **vDSM (virtual Demand Side Manager):** simula i programmi di demand response del gestore dell'energia e comunica bidirezionalmente con IoT-EMS. Corrisponde al blocco Broker dell'ecosistema architetturale.
- **IoT-EMS:** Dispositivo on edge per il controllo delle SG. Agisce fisicamente vicino alle risorse energetiche ed è finalizzata all'ottimizzazione delle risorse energetiche e alla stabilità delle MG. Comunica bidirezionalmente con vDSM e InSite Cloud. Corrisponde al livello Fog dell'ecosistema architetturale.
- **InSite Cloud:** Infrastruttura che offre una moltitudine di servizi in grado di comunicare con IoT-EMS, amministrare, orchestrare e gestire i dati raccolti in tempo quasi reale e tramite evento schedulato. Fornisce una piattaforma integrata con cui l'operatore di rete gestisce da remoto la MG e fornisce supporto alle decisioni a IoT-EMS. Corrisponde al livello Cloud e ingloba i livelli Service, Session e Application e parte del blocco Security e Cloud Auditor dell'ecosistema architetturale.
- **Intrusion Detection System (IDS):** dispositivo o un'applicazione software che esamina il traffico di rete o le attività dei sistemi informatici, al fine di identificare potenziali intrusioni o violazioni della sicurezza. IDS è una componente parte del blocco Security and Privacy dell'ecosistema architetturale.
- **SIEM (Security Information and Event Management):** Si tratta di una tecnologia progettata per fornire una visione completa e centralizzata delle attività di sicurezza in un'organizzazione. Un sistema SIEM, raccoglie e analizza i dati provenienti da diverse fonti, come log di sicurezza, eventi di rete, informazioni sugli utenti

e sui dispositivi, per identificare potenziali minacce; Utilizzando algoritmi avanzati, il SIEM, correla i dati e individua pattern o comportamenti anomali che potrebbero indicare attività sospette o incidenti di sicurezza in corso. Elemento essenziale nell'iterazione del SIEM, sono gli operatori o analisti, ossia il personale specializzato, che si occupano della configurazione, gestione, del monitoraggio e della customizzazione del SIEM. Sono suddivisi in tre categorie - analisti di primo, secondo e terzo livello - e le loro mansioni variano a seconda del grado di vulnerabilità, dal livello di criticità e dal fattore di rischio. Tali operatori agiscono all'interno del **SOC (Security Operations Center)**, unità specializzata, incaricata a monitorare e a gestire la sicurezza delle informazioni e dei sistemi informatici. Il SIEM corrisponde a parte del blocco Third Party Services dell'ecosistema architetturale.

Una visione olistica ed organizzativa della soluzione prototipata di InSite è mostrata in figura 62, in cui si pone in evidenza (1) le componenti della MG quali carichi, generatori, accumulatori, microturbine e pannelli fotovoltaici (2) il vDSM, (3) la centralina IoT-EMS e (4) l'infrastruttura InSite-Cloud. Per ciascun componente sono indicate le principali caratteristiche, responsabilità, e la comunicazione per lo scambio dati.

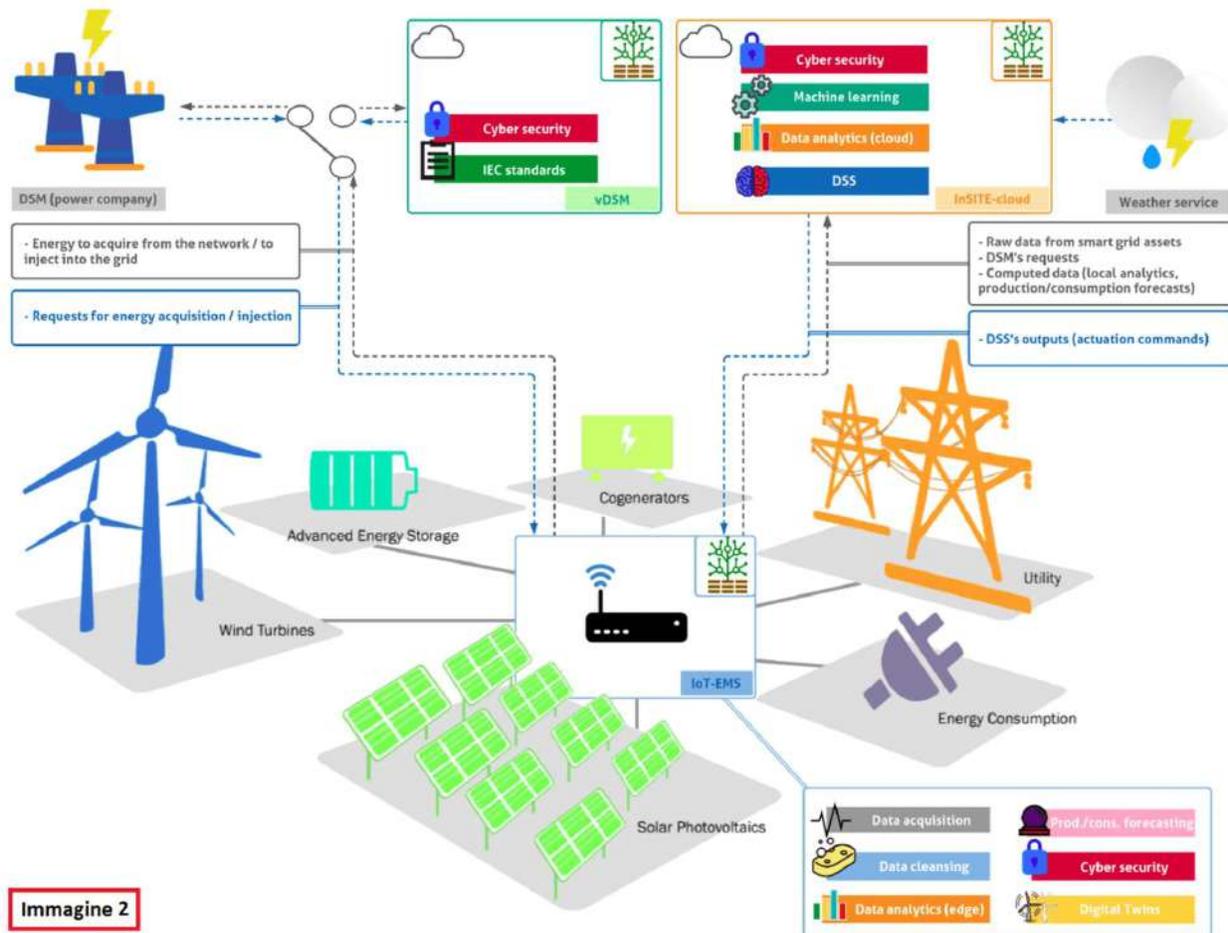


Figura 62: InSite Overview

InSite punta a ridurre principalmente gli sprechi di energia, rendendo i consumi energetici più efficienti e meno costosi offrendo vantaggi economici significativi agli utenti. Grazie al monitoraggio costante del carico di energia e dei prezzi, il sistema garantisce un efficiente bilanciamento tra potenza elettrica a cui la SG attinge e la domanda di energia elettrica, in particolar modo nei scenari in cui si raggiungono il picco di carico e/o il superamento della soglia dei prezzi sull'energia. Allo stesso tempo, i dati aggiornati sulla rete in un dato

momento riducono anche i costi operativi per le aziende energetiche.

Il flusso di dati in tempo reale fornisce informazioni continue sul consumo di energia, consentendo ai gestori della rete di poter offrire servizi di Smart Pricing che garantirebbero all'utente, un'ulteriore riduzione dei costi. Inoltre, il gestore potrà conoscere nel dettaglio e in tempo reale i consumi dei diversi utenti e avere gli strumenti per una valutazione precisa del comportamento elettrico della rete in caso di guasti, lavori programmati, pianificazione interventi ed ottimizzazione delle perdite.

La realizzazione del prototipo garantirà una serie di benefici attesi e mirati verso:

- Gli utenti, consentendo ai gestori della rete di poter offrire servizi di Smart Pricing, riducendo il costo del chilowattora consumato.
- La rete elettrica nazionale, aumentando la resilienza e adottando strategia di sicurezza informatica.
- L'ambiente, ottimizzando e incentivando l'uso di fonti rinnovabili per la generazione di energia.

6.2 Analisi dei requisiti funzionali

L'analisi dei requisiti funzionali è lo studio delle attività, in gergo informatico denominati task, che una sistema informatico è in grado di compiere a seguito dell'azione svolta dall'utente, tecnicamente indicato come attore, oppure al verificarsi di determinati eventi causati dal sistema stesso. La stesura dei requisiti funzionali può avvenire attraverso la descrizione degli scenari e dei relativi casi d'uso. Lo scenario è una sequenza di azioni principali ed alternativi, descritte in linguaggio naturale, che mettono in risalto l'interazione tra uno o più attori con il sistema o tra sistemi che interagiscono tra di loro. L'insieme degli scenari che condividono il medesimo scopo, indipendentemente dal loro esito, costituiscono un caso d'uso. I casi d'uso forniscono una visione esterna di ciò che il sistema è in grado di compiere e come esso si comporta per portarlo a termine. [Fow03]

L'individuazione degli attori è propedeutica per la descrizione degli scenari e dei casi d'uso. Nell'ambito della progettazione dell'infrastruttura Cloud, gli attori individuati sono:

- **Admin IoT-EMS:** responsabile per la configurazione e la gestione di IoT-EMS.
- **IoT-EMS:** dispositivo fisico che rappresenta IoT-EMS.
- **Admin InSite-Cloud:** responsabile per la configurazione e la gestione di InSite-Cloud.
- **InSite-Cloud Services:** Servizi presenti all'interno dell'infrastruttura InSite-Cloud. Sebbene sia indicato in maniera generica, le funzionalità dei servizi sono molteplici e saranno indicati sia nella descrizione dei casi d'uso che all'interno dell'architettura concettuale.
- **InSite-Cloud:** Indica l'infrastruttura InSite-Cloud.
- **User InSite-Cloud:** utente che accede ed utilizza la piattaforma dati. Si tratta dell'operatore che monitora e controlla il funzionamento della MG.

Qui di seguito sono riportati i requisiti funzionali ad alto livello dell'infrastruttura InSite-Cloud. Verranno riportati gli scenari principali che riportano casi di successo e un breve cenno per i casi alternativi e di fallimento più evidenti. Maggiori dettagli verranno illustrati nei deliverable inerenti ad ogni singolo modulo architetturale dell'intera infrastruttura Cloud.

UC-1: Registrazione di IoT-EMS in InSite Cloud

Descrizione	Dispositivo IoT-EMS si registra a InSite-Cloud
Attori	Admin IoT-EMS, Admin InSite-Cloud
Precondizioni	Il dispositivo IoT-EMS è stato configurato ed è pronto per l'uso
Postcondizioni	InSite-Cloud riconosce il dispositivo IoT-EMS
Trigger	Nessun trigger, poiché si tratta di un'attività di configurazione
Note	Il caso d'uso è estendibile a più IoT-EMS

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-1-1	Admin InSite-Cloud	Admin InSite-Cloud fornisce le istruzioni a IoT-EMS per eseguire la registrazione.	
BF-1-2	Admin IoT-EMS	Admin IoT-EMS riceve ed esegue le istruzioni.	EF-1: Mancata registrazione tra IoT-EMS e InSite-Cloud
BF-1-3	IoT-EMS	IoT-EMS registrato con successo in InSite-Cloud. UC-1 terminato.	

Scenario Fallimento EF-1: Mancata registrazione tra IoT-EMS e InSite-Cloud

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
EF-1-1	IoT-EMS	Se IoT-EMS non riesce a completare le istruzioni fornite da InSite-Cloud allora non sarà possibile stabilire la comunicazione.	
EF-1-2		UC-1 terminato	

UC-2: Autenticazione di IoT-EMS in InSite-Cloud

Descrizione	IoT-EMS chiede di stabilire la comunicazione con InSite-Cloud
Attori	Admin IoT-EMS, InSite-Cloud Services
Precondizioni	IoT-EMS dev'essere registrato su InSite-Cloud come indicato in UC-1
Postcondizioni	InSite-Cloud riconosce il dispositivo IoT-EMS e stabilisce la comunicazione per lo scambio dati
Trigger	Nessun trigger, poiché si tratta di un'attività di configurazione
Note	Il caso d'uso è estendibile a più IoT-EMS

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-2-1	Admin IoT-EMS	Admin IoT-EMS fornisce le credenziali per accedere a InSite-Cloud.	AF-2: Credenziali IoT-EMS non valide
BF-2-2	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud verifica le credenziali.	
BF-2-3	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud riconosce l'autenticità di IoT-EMS e stabilisce con successo la comunicazione. UC-2 terminato.	

Scenario Alternativo AF-1: Credenziali IoT-EMS non valide

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
AF-1-1	InSite-Cloud	Se InSite-Cloud non riconosce IoT-EMS allora invierà un messaggio di mancata autorizzazione.	
AF-1-2	IoT-EMS	IoT-EMS inserisce le credenziali.	
AF-1-3	IoT-EMS	Si ritorna in UC-2, BF-1.	

UC-3: Invio misurazioni di campo da IoT-EMS a InSite-Cloud

Descrizione	IoT-EMS invia le misurazioni di campo a InSite-Cloud
Attori	IoT-EMS, InSite-Cloud Services
Precondizioni	Il dispositivo IoT-EMS è stato autenticato da InSite-Cloud come indicato in UC-2
Postcondizioni	InSite-Cloud riceve e salva le misurazioni di campo in un apposito archivio
Trigger	L'invio delle misurazioni di campo avviene a brevissimo termine
Note	I principali asset della MG in esame saranno composti da: microturbina, cogeneratore, impianto eolico e sistemi di accumulo di energia a batteria da cui ottenere potenza attiva e reattiva.

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-3-1	IoT-EMS	IoT-EMS invia a InSite-Cloud le misurazioni di campo	AF-2: Reinvio dati verso InSite-Cloud, EF-2: Mancato invio dati
BF-3-2	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud riceve le misurazioni di campo.	AF-3: Richiesta di inoltro dati a IoT-EMS oppure AF-4: Invio massivo dati a InSite-Cloud
BF-3-3	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud invia un messaggio di conferma a IoT-EMS per confermare il corretto invio.	
BF-3-4	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud salva le misurazioni di campo in un apposito archivio. UC-3 terminato.	EF-4: Errore durante salvataggio dati

UC-4: Invio dati vDSM da IoT-EMS a InSite-Cloud

Descrizione	IoT-EMS invia i dati vDSM a InSite-Cloud
Attori	IoT-EMS, InSite-Cloud Services
Precondizioni	Il dispositivo IoT-EMS è stato autenticato da InSite-Cloud come indicato in UC-2
Postcondizioni	InSite-Cloud riceve e salva i dati vDSM in un apposito archivio
Trigger	L'invio dei dati vDSM avviene secondo un evento schedulato fissato a 15 minuti
Note	Le informazioni del vDSM che verranno inviate a InSite-Cloud per conto di IoT-EMS riguardano le richieste di Demand Resp e i vincoli di produzione.

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-4-1	IoT-EMS	IoT-EMS invia a InSite-Cloud i dati vDSM.	AF-2: Reinvio dati verso InSite-Cloud, EF-2: Mancata comunicazione con IoT-EMS
BF-4-2	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud riceve i dati vDSM.	AF-3: Richiesta di inoltro dati a IoT-EMS, AF-4: Invio massivo dati a InSite-Cloud
BF-4-3	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud invia un messaggio di conferma a IoT-EMS per confermare il corretto invio.	

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-4-4	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud salva i dati vDSM in un apposito archivio. UC-4 terminato.	EF-4: Errore durante salvataggio dati

Scenario Alternativo AF-2: Reinvio dati verso InSite-Cloud

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
AF-2-1	IoT-EMS	Se IoT-EMS non riesce ad inviare i dati verso InSite-Cloud allora IoT-EMS eseguirà un operazione di reinvio dati entro un tempo prestabilito.	
AF-2-2		Si ritorna in BF-1-1 oppure BF-4-1).	

Scenario Alternativo AF-3: Richiesta di inoltro dati a IoT-EMS

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
AF-3-1	InSite-Cloud	Se InSite-Cloud non riceve dati entro un tempo prefissato, inoltrerà un messaggio che notifica IoT-EMS per il reinvio dati.	
AF-3-2		Si ritorna in BF-3-1 oppure BF-4-1.	

Scenario Alternativo AF-4: Invio massivo dati a InSite-Cloud

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
AF-4-1	InSite-Cloud	Se InSite-Cloud non riceve i dati entro un tempo prefissato, notifica a IoT-EMS quali e quanti dati IoT-EMS deve inviare secondo una logica di invio massivo.	
AF-4-2	IoT-EMS	IoT-EMS raccoglie i dati mancanti e procede con l'invio massivo dei dati.	
AF-4-3	InSite-Cloud	InSite-Cloud riceve i dati.	
AF-4-4		Si ritorna in BF-3-2 oppure BF-4-2.	

Scenario Fallimentare EF-2: Mancata comunicazione con IoT-EMS

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
EF-2-1	InSite-Cloud	Se InSite-Cloud e IoT-EMS non riescono a comunicare tra di loro, InSite-Cloud non sarà in grado di ricevere dati da IoT-EMS.	
EF-3-2		UC-3, UC-4, UC-8 terminato	

UC-5: Raccolta dati da fonti esterne verso InSite-Cloud

Descrizione	InSite-Cloud acquisisce dati meteo e dei prezzi energetici dal Mercato Elettrico Nazionale.
Attori	InSite-Cloud Services
Precondizioni	InSite-Cloud deve stabilire una comunicazione sicura ed affidabile con le fonti esterne
Postcondizioni	InSite-Cloud acquisisce e salva i dati esterni in un apposito archivio
Trigger	La raccolta dati avviene in un flusso a breve termine dalla durata di 15 minuti.
Note	Il minutaggio di raccolta potrebbe estendersi verso i 60 minuti o un valore superiore, pertanto tal valore è soggetta a variazioni e non ne indica un valore definitivo.

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-5-1	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud acquisisce i dati provenienti dalle stazioni meteorologiche e dal mercato elettrico nazionale	EF-3: Mancata comunicazione con fonti esterne.
BF-5-2	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud aggrega i dati ricevuti.	
BF-5-3	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud salva i dati aggregati in un apposito spazio di archiviazione. UC-5 terminato.	EF-4: Errore durante salvataggio dati

Scenario Fallimentare EF-3: Mancata comunicazione con fonti esterne

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
EF-3-1	InSite-Cloud	Se InSite-Cloud non riesce a stabilire una comunicazione con le fonti esterne entro un tempo prefissato, allora non sarà in grado di acquisire i dati.	
EF-3-2		UC-5 terminato.	

Scenario Fallimentare EF-4: Errore durante salvataggio dati

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
EF-4-1	InSite-Cloud	Se InSite-Cloud non è in grado di salvare i dati raccolti per un errore inaspettato, allora InSite-Cloud non sarà in grado di salvare i dati raccolti.	
EF-4-2		UC-3, UC-4, UC-5 terminato.	

UC-6: Addestramento dei modelli di AI su InSite-Cloud

Descrizione	InSite-Cloud esegue l'addestramento dei modelli AI per la previsione sui comportamenti futuri delle fonti rinnovabili.
Attori	InSite-Cloud Services, IoT-EMS
Precondizioni	L'addestramento avviene utilizzando i dati storici archiviati secondo quanto indicato in UC-3, UC-4, UC,5
Postcondizioni	InSite-Cloud fornisce a IoT-EMS i modelli su cui eseguire le previsioni sui comportamenti futuri delle risorse energetiche non controllabili, ossia le risorse rinnovabili
Trigger	L'addestramento avviene periodicamente secondo un evento schedulato fissato ogni 24 ore.
Note	Maggiori dettagli sull'addestramento dei modelli verrà esplicitato nella LA1.5 <i>"Development and validation of ML-based model generation of DT and predictions"</i>

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-6-1	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud estrae le informazioni dallo storico dati.	
BF-6-2	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud esegue operazioni di pre-processing sui dati per ottenere un dataset fruibile per gli algoritmi di AI.	

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-6-3	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud esegue una fase di test dove per ogni previsione, esegue l'addestramento di uno o più modelli di AI per valutare l'accuratezza dei modelli dove seleziona quali sono i migliori algoritmi e con quale parametri che hanno ottenuto le performance predittive migliori.	
BF-6-4	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud esegue l'addestramento usando i migliori modelli individuati.	
BF-6-5	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud salva modelli e parametri in un apposito spazio di archiviazione.	
BF-6-6	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud invia modelli e parametri a IoT-EMS.	EF-5: Errore invio modelli AI a IoT-EMS
BF-6-7	IoT-EMS	IoT-EMS riceve i dati previsionali.	
BF-6-8	IoT-EMS	IoT-EMS notifica a InSite-Cloud il buon esito.	

Scenario Fallimentare EF-5: Errore invio modelli AI a IoT-EMS

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
EF-5-1	InSite-Cloud	Se InSite-Cloud non è in grado di inviare i modelli a IoT-EMS per un errore inaspettato, allora IoT-EMS agirà in maniera isolata ed eseguirà in locale l'addestramento dei modelli di AI, seppur non possa garantire una soluzione ottimale rispetto alla versione presente su Cloud.	
EF-5-2		UC-6 terminato.	

UC-7: Calcolo area di stabilità statica e dinamica della SG

Descrizione	InSite-Cloud utilizza il tool di stabilità per individuare l'area di stabilità statica e dinamica della MG, ossia i valori che definiscono l'ipersuperficie sul quale i punti di lavoro devono essere collocati per garantire maggior efficienza.
Attori	InSite-Cloud Services
Precondizioni	Nessuna precondizione in esame
Postcondizioni	InSite-Cloud determina l'area di stabilità statica e dinamica della SG che potrà essere utilizzata dagli algoritmi di ottimizzazione.
Trigger	Il calcolo dell'area di stabilità avviene in un evento schedulato e prefissato ad ogni 24 ore.
Note	Il minutaggio di calcolo potrebbe estendersi verso una tantum, pertanto tal valore è soggetta a variazioni e non ne indica un valore definitivo. Maggiori dettagli sul calcolo dell'area di stabilità e dinamica verranno esplicitati nella LA3.3 <i>"Static and dynamic models of microgrids"</i> .

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-7-1	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud esegue l'algoritmo in grado di calcolare l'area di stabilità statica e dinamica della SG.	
BF-7-2	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud salva le aree di stabilità in un apposito spazio di archiviazione. UC-7 terminato	

UC-8: Previsione, ottimizzazione e stabilità punti di lavoro

Descrizione	InSite-Cloud avvia le operazioni di previsione, ottimizzazione e stabilità dei punti di lavoro.
Attori	IoT-EMS, InSite-Cloud Services
Precondizioni	IoT EMS deve essere stato configurato e connesso a InSite-Cloud secondo quanto indicato in UC-1, sfrutta i modelli predittivi addestrati in UC-6 ed utilizza le aree di stabilità statica e dinamica calcolati in UC-7 per gli algoritmi di ottimizzazione.
Postcondizioni	InSite-Cloud individua i punti di lavoro che ottimizzano l'esercizio della MG per l'intero periodo di previsione
Trigger	Le operazioni di previsione, ottimizzazione e stabilità avvengono ogni 15 minuti.
Note	Le energie prodotte ed accumulate da ognuno degli asset controllabili prendono il nome di punti di lavoro . Il periodo di previsione è di 24h con periodo di 15 minuti. Pertanto verranno generati 96 punti di lavoro.

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-8-1	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud carica il modello addestrato.	
BF-8-2	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud esegue previsioni delle fonti rinnovabili nell'arco di 24 ore diviso in intervalli di 15 minuti. Ne consegue la presenza di 96 punti di lavoro.	

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-8-3	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud per ogni punto di lavoro previsto, esso viene utilizzato per individuare ulteriori punti di lavoro legati alle risorse non rinnovabile che ottimizzano una funzione obiettivo predefinita.	
BF-8-4	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud per ogni punto di lavoro previsto, verifica la stabilità del punto e se esso ricade nelle area di stabilità statica e dinamica. In caso negativo, si esegue l'algoritmo di stabilità che permette di spostare i punti di lavoro verso l'area di stabilità.	
BF-8-5	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud salva i risultati ottenuti in un apposito modulo di archiviazione.	
BF-8-6	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud invia i punti di lavoro stabili a IoT-EMS.	EF-6: Errore invio punti di lavori ottimali a IoT-EMS.
BF-8-7	IoT-EMS	IoT-EMS riceve i nuovi punti di lavoro. UC-8 terminato.	EF-6: Errore invio punti di lavori ottimali a IoT-EMS.

Scenario Fallimentare EF-6: Errore invio punti di lavori ottimali a IoT-EMS

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
EF-6-1	InSite-Cloud	Se InSite-Cloud non è in grado di inviare i punti di lavoro ottimale a IoT-EMS per un errore inaspettato, IoT-EMS agirà in maniera isolata ed eseguirà in locale l'algoritmo di ottimizzazione, seppur non possa garantire una soluzione ottimale rispetto alla versione presente su Cloud. In alternativa potrà utilizzare gli ultimi modelli già presenti su IoT-EMS.	
EF-6-2		UC-8 terminato.	

UC-9: Richiesta ricalcolo punti di lavoro

Descrizione	A causa di una variazione sensibile che influenzano le SG, IoT EMS notifica a InSITE-Cloud la necessità di ricalcolare i punti di lavoro previsionali.
Attori	IoT-EMS, InSite-Cloud Services
Precondizioni	IoT EMS deve essere stato configurato e connesso a InSite-Cloud secondo quanto indicato in UC-1.
Postcondizioni	InSite-Cloud individua i punti di lavoro che ottimizzano l'esercizio della MG
Trigger	La richiesta arriva da IoT-EMS in tempo reale ma l'elaborazione da parte di InSite-Cloud avverrà in un arco temporale di 15 minuti conseguenti rispetto alla richiesta.
Note	

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-9-1	IoT-EMS	IoT-EMS verifica se il punto di lavoro erogato dalla SG sia coerente, cioè molto prossimo, con quello impostato. In caso negativo, IoT-EMS individua uno squilibrio tra carichi, generatori e accumulatori.	
BF-9-2	IoT-EMS	IoT-EMS verifica se il punto di lavoro erogato dalla MG sia coerente, cioè molto prossimo, con quello impostato. In caso negativo, IoT-EMS individua uno squilibrio tra carichi, generatori e accumulatori.	
BF-9-3	IoT-EMS	IoT-EMS invia un messaggio a InSite Cloud in cui notifica la necessità di ricalcolare i punti di lavoro.	EF-2: Mancata comunicazione con IoT-EMS
BF-9-4	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud riceve ed elabora il messaggio recepito.	
BF-9-5	InSite-Cloud Services	Insite-Cloud invia un messaggio che notifica a IoT-EMS che accetta la presa in carico dell'elaborazione.	EF-2: Mancata comunicazione con IoT-EMS

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-9-6	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud individua le cause dell'errore mediante un opportuno orchestratore ed esegue le operazioni indicate in UC-8. UC-9 terminato	

UC-10: Registrazione utente su piattaforma

Descrizione	Permette agli utenti di registrarsi sulla piattaforma
Attori	User InSite-Cloud, InSite-Cloud Services
Precondizioni	Piattaforma disponibile
Postcondizioni	L'utente è in grado di accedere alla piattaforma
Trigger	Nessun trigger, poichè si tratta di un'attività in cui l'utente si registra alla piattaforma.
Note	

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-10-1	User InSite-Cloud	User InSite-Cloud accede nella schermata di registrazione della piattaforma.	
BF-10-2	InSite-Cloud Services	User InSite-Cloud indica utenza e password.	
BF-10-3	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud verifica le credenziali inserite.	AF-5: Credenziali errate
BF-10-4	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud salva le credenziali dell'utente in un apposito database UC-10 terminato.	

UC-11: Autenticazione ed accesso su piattaforma

Descrizione	Permette agli utenti di accedere alla piattaforma web
Attori	User InSite-Cloud, InSite-Cloud Services
Precondizioni	L'utente deve risultare registrato su piattaforma
Postcondizioni	L'utente è in grado di usufruire dei servizi messi a disposizione dalla piattaforma
Trigger	Nessun trigger, poichè si tratta di un'attività in cui l'utente si autentica alla piattaforma.
Note	

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-11-1	User InSite-Cloud	User InSite-Cloud si collega alla piattaforma nella schermata di log-in ed inserisce le proprie credenziali.	
BF-11-2	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud verifica le credenziali inserite.	AF-5: Credenziali errate
BF-11-3	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud consente l'accesso all'utente.	
BF-11-4	User InSite-Cloud	User InSite-Cloud accede alla piattaforma e può usufruire dei servizi a seconda del ruolo e dei privilegi che esso possiede. UC-11 terminato.	

Scenario Alternativo AF-5: Credenziali errate

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
AF-5-1	InSite-Cloud	Se l'utente fornisce le credenziali in maniera errata allora InSite-Cloud mostrerà un messaggio di errore.	
AF-5-2		Si ritorna in BF-10-2 oppure in BF-11-1.	

UC-12: Visualizzazione, analisi dati e supporti alla decisione su piattaforma

Descrizione	InSite-Cloud fornisce agli utenti la possibilità di visualizzare ed analizzare i dati raccolti sulla piattaforma.
Attori	User InSite-Cloud, InSite-Cloud Services
Precondizioni	I dati devono essere raccolti, salvati e pronti all'uso da InSite-Cloud, secondo quanto definito in UC-3, UC-4, UC-5. Inoltre gli utenti devono accedere alla piattaforma come indicato in UC-
Postcondizioni	InSite-Cloud acquisisce e salva i dati esterni in un apposito archivio
Trigger	Le azioni da parte degli utenti non basate su specifici eventi.
Note	Le azioni compiute dall'utente verranno approfondite nella LA1.6 <i>"Data governance, integration and platform development"</i> , pertanto possono essere soggette a variazione.

Scenario Base

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-12-1	User InSite-Cloud	Utente accede alla schermata di home-page.	
BF-12-2	InSite-Cloud Services	InSite-Cloud interpreta la richiesta dell'utente ed interroga la base dati per accedere alle informazioni.	

Step ID	Attori	Azione	Note e riferimenti
BF-12-3	InSite-Cloud Services	<p>InSite-Cloud mostra, mediante uso di dashboard, osservazioni quali: (1) carico accumulato nella giornata odierna, (2) carico attuale, (3) carico di picco, (4) carico di base, (5) livello di allerta, (6) livello di attenzione, (7) confronto tra la giornata odierna e un intervallo di tempo (giorno, settimana, mese, anno) che l'utente può selezionare, (8) confronto tra i valori attuali e i valori previsionali, (9) situazione ottimale della MG ed area stabilità, (10) andamento prezzo energia nel mercato elettrico, (11) dati meteorologici, (12) analisi statistica descrittiva delle risorse energetiche, (13) download reportistica.</p> <p>UC-12 terminato.</p>	

In figura 63 si mostra il diagramma dei casi d'uso che riepiloga i principali casi d'uso.

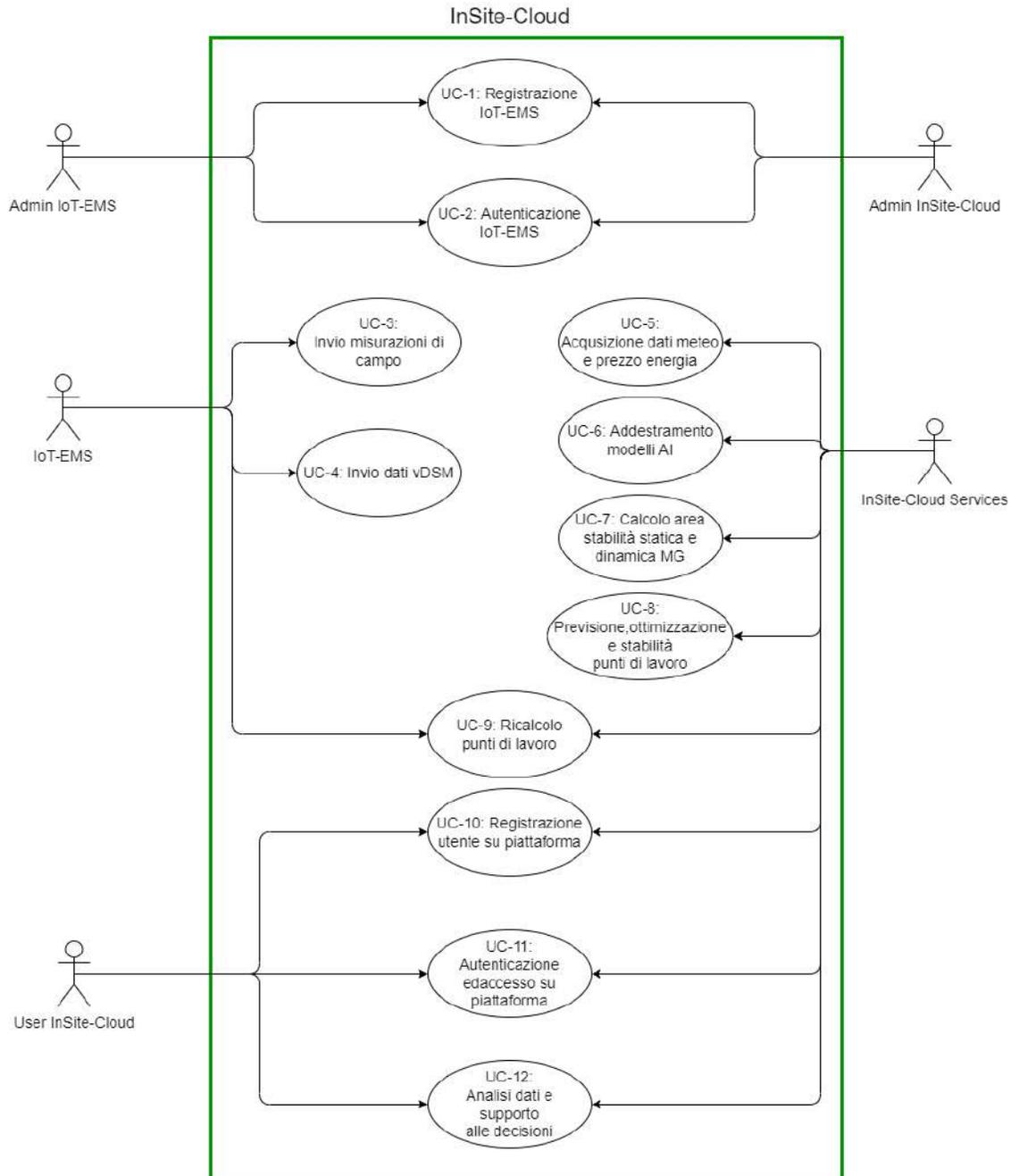


Figura 63: Diagramma casi d'uso InSite-Cloud

In figura 64 si mostra il diagramma di flusso che vede i casi d'uso elencati sotto forma di interazione tra IoT-EMS e InSite-Cloud.

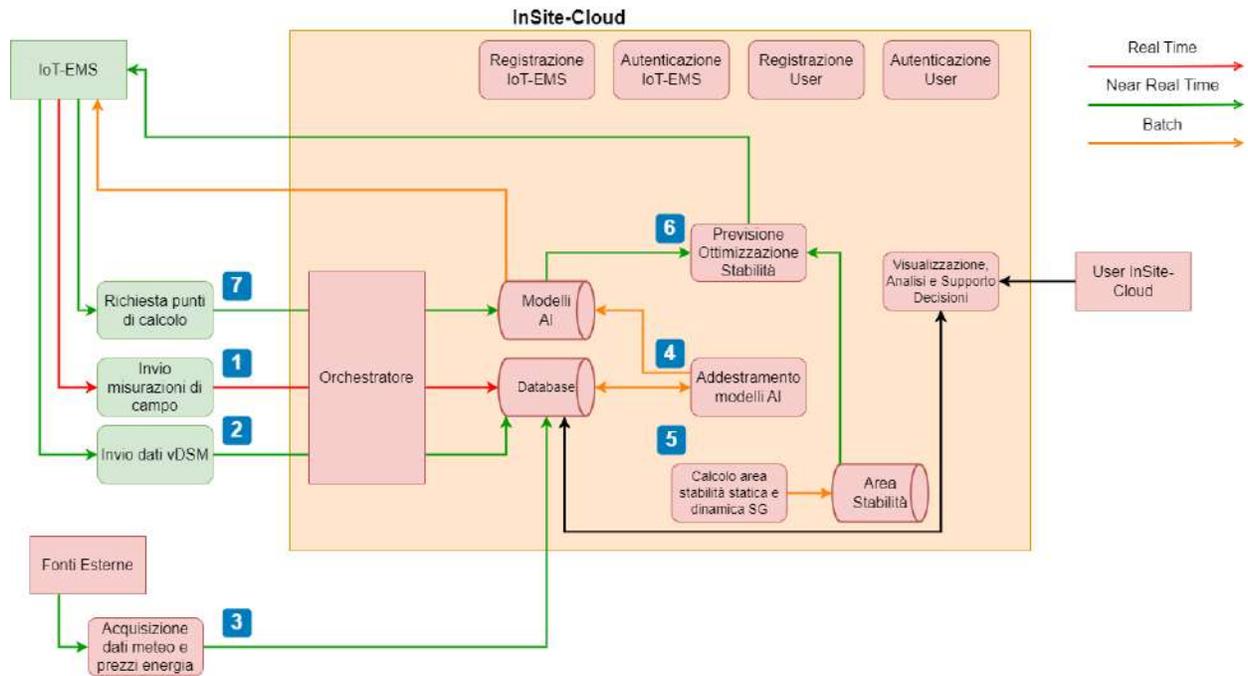


Figura 64: Diagramma flusso InSite-Cloud

6.3 Analisi dei requisiti non funzionali

I requisiti non funzionali indicano un insieme di caratteristiche e vincoli che una Solution Architecture deve rispettare affinché possa garantire il normale e corretto svolgimento delle attività specificate nei requisiti funzionali. Essi sono trasparenti all'utente finale essendo principalmente elementi di natura tecnica e non hanno alcun impatto sulla funzionalità dell'applicazione, ovvero esso potrà restituire il risultato desiderato anche quando non soddisfa i requisiti non funzionali.

Tuttavia il mancato raggiungimento dei requisiti non funzionali può portare ad effetti indesiderati, soprattutto a lungo termine. L'analisi dei requisiti non funzionali è fondamentale e garantisce il corretto funzionamento del sistema a fronte delle funzionalità richieste.

Gli aspetti non funzionali dunque non devono essere sottovalutati in quanto possono impattare sulle scelte architettoniche e decisioni errate risultano molto onerose da modificare in uno stato avanzato di sviluppo.

I requisiti non funzionali sono importanti in equal misura rispetto ai requisiti funzionali, non sono mutuamente esclusivi ma sono dipendenti tra di loro e la loro sinergia rappresenta un punto di forza per la buona realizzazione di una Solution Architecture.

L'analisi e la raccolta dei requisiti non funzionali varia a seconda del progetto e dal contesto applicativo.

Si indica una lista esaustiva di requisiti non funzionali in relazione al Cloud Solution Architecture definita nel progetto InSite. Tali requisiti agiscono e valgono sia sull'intera infrastruttura Cloud e sia sui singoli moduli che la governano, i cui dettagli verranno spiegati nelle successive linee di attività.

- **Privacy e compliance:** è fondamentale tutelare dati quali la profilazione dell'utente o le misurazioni provenienti dalle risorse energetiche di campo. L'infrastruttura deve essere conforme a tutte le leggi e ai regolamenti applicabili per la privacy e il trattamento dei dati sensibili. Si farà testo al GDPR (Regolamento generale sulla protezione dei dati).
- **Disaster recovery:** l'infrastruttura deve risultare stabile e funzionante anche in prossimità di eventi non previsti soprattutto nei casi d'uso in cui si verifica un comportamento anomalo su InSite-Cloud o nella comunicazione tra IoT-EMS e InSite-Cloud.
- **Manutenzione:** l'infrastruttura deve fornire sistemi di backup secondo cadenze delineate e meccanismi di manutenzione e aggiornamento senza inficiare sull'intero flusso esecutivo. Tipicamente i sistemi di backup sono a carico di chi progetta l'intera infrastruttura, mentre la responsabilità per la manutenzione e l'aggiornamento dei sistemi spetta al CSP. All'interno di InSite-Cloud verranno adottati sistemi di backup per poter preservare lo storico dei dati acquisiti nel tempo.

- **Scalabilità:** l'infrastruttura deve essere in grado di aumentare o diminuire sia in termini di numero di risorse che di capacità computazionale in caso di un crescente aumento delle richieste. Il requisito di scalabilità è un concetto fondamentale e molto vasto ed agisce su diversi moduli dell'architettura InSite-Cloud, in particolar modo nelle componenti che trattano l'addestramento dei modelli di AI e gli algoritmi di ottimizzazione. Senza dimenticare la gestione di uno o più dispositivi IoT-EMS collegati in InSite-Cloud oppure la gestione del carico di lavoro elaborato da uno o più utenti connessi nella piattaforma web.
- **Disponibilità:** l'infrastruttura deve essere disponibile e non deve subire brusche interruzioni o spegnimenti improvvisi.
- **Performance:** l'infrastruttura deve essere in grado di eseguire le funzionalità applicative nei tempi prestabiliti senza ulteriori ritardi.
- **Usabilità:** la piattaforma deve disporre di un'interfaccia grafica intuitiva e facile da usare secondo giudizio dell'utente fruitore del servizio. Inoltre, l'interazione uomo macchina deve soddisfare le euristiche di Nielsen, che permettono di misurare quanto più oggettivamente possibile l'usabilità di un sistema.
- **Latenza:** l'infrastruttura deve eseguire le richieste sulla rete in tempi celeri evitando scenari di time-out delle risorse, in particolar modo durante lo scambio dati tra IoT-EMS e InSite-Cloud.

I requisiti non funzionali verranno ritrattati con maggior dettaglio nelle LA1.2 *"Design of cloud infrastructure"* e LA1.6 *"Data governance, integration and platform development"*.

6.4 Architettura concettuale di InSite-Cloud

Alla luce dei requisiti funzionali raccolti, è stata delineata l'infrastruttura concettuale di InSite-Cloud, come mostrato in figura 65.

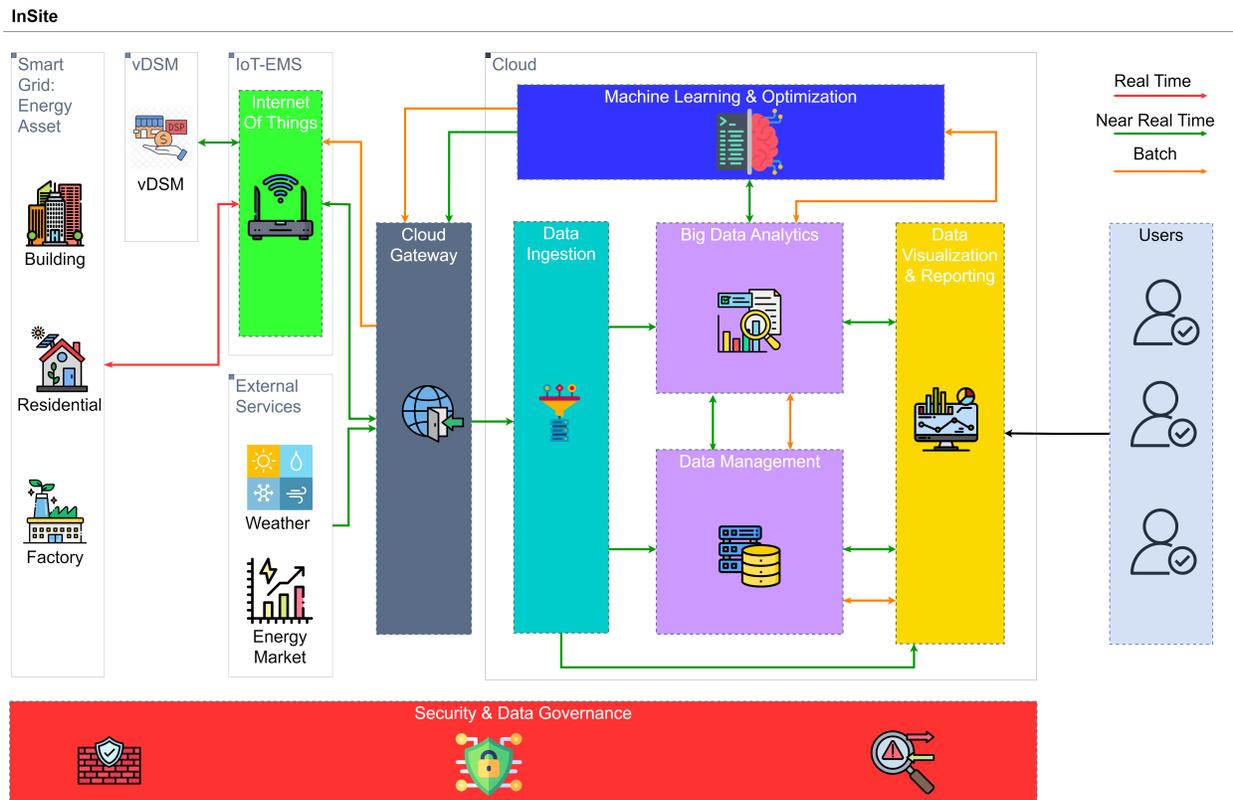


Figura 65: Architettura concettuale InSite-Cloud

Nell'architettura concettuale sono presenti le principali componenti - asset SG, vDSM, IoT-EMS, InSite-Cloud - descritte nel paragrafo 6.1. Si pongono in risalto i moduli che governano le funzionalità che agiscono internamente in Cloud e, nella comunicazione tra dispositivi on Edge e Cloud. Gli elementi al di fuori di essa, sono oggetto di studio nei successivi deliverable di progetto.

Dall'architettura concettuale si evincono tre differenti flussi per il traffico dati al fine di distinguere le necessità e le responsabilità dei moduli Edge e Cloud. Infatti, la comunicazione real-time avviene durante l'interazione tra i dispositivi di campo, ossia gli asset della SG, e la componente IoT-EMS poiché i processi decisionali on-Edge devono avvenire in tempi estremamente brevi. Invece, la comunicazione tra vDSM e IoT-EMS e, tra IoT-EMS e InSite-Cloud possono avvenire in near real-time in quanto le azioni previste, sebbene debba-

no avvenire in tempi rapidi, non necessitano di una velocità istantanea di esecuzione.

L'infrastruttura Insite-Cloud consente inoltre di gestire attività in batch, inteso come eventi schedulati, che pertanto non necessitano di risposte in real time o near-real time. In quest'ottica l'infrastruttura è stata arricchita anche di componenti basate su attività schedulate in specifici lassi temporali.

Da un punto di vista tecnologico, InSite-Cloud si presenta come un'architettura orientata ai servizi poiché utilizza componenti software, denominati servizi, ciascuno dei quali è in grado di compiere una determinata attività. All'interno dell'infrastruttura, tali servizi possono essere combinati tra loro per creare dei sistemi, o moduli, capaci di eseguire funzionalità più complesse, e progettate anch'esse secondo gli attributi e i principi tipici di una Cloud Solution Architecture, secondo quanto verrà dettagliatamente descritto nella linea di attività 1.2 *"Design of Cloud infrastructure"*.

I moduli ideati sebbene siano collegati tra di loro, agiscono in maniera indipendente. In questo modo, se si modifica un servizio all'interno di un modulo, non avrà un impatto significativo su gli altri servizi e, in generale, sull'intera infrastruttura.

InSite Cloud è organizzata secondo i seguenti moduli:

- **Internet of Things**
- **Cloud Gateway**
- **Data Ingestion**
- **Data Management**
- **Big Data Analytics**
- **Machine Learning & Optimization**
- **Data Visualization & Reporting**
- **Security & Data Governance**

La componente **Internet of Things** definisce una soluzione implementabile direttamente sui dispositivi IoT, nello specifico IoT-EMS, che sono dotati di connettività Internet e sono in grado di comunicare con l'infrastruttura Cloud per poi, successivamente, interagire con esso ed eseguire attività on Edge quali raccolta, archiviazione, analisi dati e distribuzione di modelli di AI.

Le funzionalità previste dal modulo Internet of Things sono le seguenti:

- Gestione dei dispositivi IoT-EMS
 - Registrazione dei dispositivi IoT-EMS su Cloud

- Installazione software sui dispositivi IoT-EMS per connettività da e verso il Cloud
- Connettività e sicurezza dei dispositivi IoT-EMS
 - Autenticazione
 - Autorizzazione
 - Interazione con i dispositivi IoT-EMS in caso di situazioni offline

La componente **Cloud Gateway** è il modulo di comunicazione bidirezionale tra IoT-EMS e InSite-Cloud e permette lo scambio dati tra Edge e Cloud. Da un punto di vista concettuale essa agisce da collante tra i due moduli ma, da un punto di vista tecnico, è configurato all'interno dell'infrastruttura InSite-Cloud.

Le funzionalità previste dal modulo Cloud Gateway sono le seguenti:

- Definizione protocollo di comunicazione tra dispositivi IoT-EMS e InSite-Cloud.
- Definizione moduli di sicurezza per il trasporto sicuro nella comunicazione tra dispositivi IoT-EMS e InSite-Cloud.
- Invio e ricezione dati da e verso InSite-Cloud e da e verso IoT-EMS. Nello specifico:
 - Da IoT-EMS a InSite-Cloud:
 - * **Dati di funzionamento degli asset:** dati di funzionamento degli asset: sono tutti i dati raccolti dagli asset della SmartGrid (generatori, carichi, accumulatori) in Real Time grazie all'IoT EMS e le interfacce disponibili in edge (e.g. schede di acquisizione, PLC aggregatori, Smart Meter, etc.)
 - * **dati vDSM:** sono i dati scambiati con il gestore della Utility Grid per il Demand Side Management.
 - * **Richiesta ricalcolo punti di lavoro:** messaggio con cui l'IoT EMS notifica all'InSITE Cloud la necessità di ricalcolare i punti di lavoro per l'intero periodo di previsione a causa di una variazione sensibile rispetto alle condizioni di funzionamento, cioè le variabili non controllabili che influenzano la SG.
 - Da InSite-Cloud a IoT-EMS:
 - * **Punti di lavoro stabili:** punti di lavoro ricalibrati per l'intero periodo di ottimizzazione.
 - * **Modelli di carichi, generatori, andamento meteo, andamento prezzi:** modelli addestrati in InSite-Cloud e usati per la previsione e l'ottimizzazione.
 - * **Area di stabilità**
 - * **Notifica di rilevazione di intrusioni**

I moduli Internet of Thing e Cloud Gateway verranno approfonditi nella L.A 2.3 *"Development of the IoT-EMS/Cloud platform interface module"*.

Il modulo **Data Ingestion** si occupa essenzialmente dell'acquisizione dati da più fonti eterogenee in diversi formati e caratteristiche.

Poiché i dati sono raccolti da varie fonti e si presentano ad uno stato grezzo, è importante sottoporre tali dati a fasi di aggregazione e pre-processing. La fase di aggregazione, indicato con il termine **Data Collection**, è finalizzata ad integrare i dati provenienti da varie fonti al fine di fornire una visione unificata, mentre attività di **Data Pre-processing** saranno necessarie per migliorare la qualità del dato in termini di eliminazione di dati incoerenti e selezione delle informazioni rilevanti. Una volta trasformati i dati in uno stato fruibile ai servizi successivi, nella fase di **Data Transmission** possono essere veicolati o verso un sistema di storage, presenti nel modulo Data Management, o verso la componente Big Data Analytics per poter eseguire analisi del dato in tempi brevi oppure direttamente verso servizi presenti nel modulo Data Visualization & Reporting.

Le responsabilità del modulo Data Ingestion sono le seguenti:

- Raccolta su Cloud delle misurazioni provenienti dalle risorse energetiche, dal gestore dell'energia, e da fonti esterne quali stazioni meteorologiche e mercato elettrico nazionale.
- Attività di Data collection, Data Pre-processing, Data transmission.

Il modulo **Data Management** permette di conservare ed analizzare grandi volumi di dati raccolti nel tempo e resi fruibili dalle componenti Big Data Analytics e Data Visualization & Reporting. Il modulo Data Management deve garantire proprietà di scalabilità, necessarie per poter gestire opportunamente operazioni di Big Data Analytics con performance e tempi di risposta adeguate per tutte le operazioni di reperimento dell'informazione.

Le responsabilità del modulo Data Management sono le seguenti:

- Archiviazioni dati sia in formato grezzo che in formato fruibile ai moduli di InSite-Cloud. L'archiviazione e la conservazione dei dati avverranno su apposite strutture e seguendo metodologie che rendono efficace il ritrovamento dell'informazione.

Il modulo **Big Data Analytics** è deputata all'estrapolazione della conoscenza intrinseca dai dati, nonché all'addestramento dei modelli di predizione mediante il modulo Machine Learning & Optimization e fornisce le informazioni necessari per la visualizzazione dati nel modulo Data Visualization & Reporting. Il modulo Big Data Analytics è fondamentale nel contesto di InSite-Cloud per via della natura, della quantità dei dati e delle modalità e i tempi con cui le informazioni dovranno essere elaborate in maniera performante. Si tratta dunque della componente che funge da engine sull'intero processo esecutivo.

Le responsabilità del modulo Big Data Analytics sono le seguenti:

- Elaborazione dati in near-real time e in batch.
- Analisi e creazione di report.
- Attività di orchestrazione.

Il modulo **Machine Learning & Optimization** è responsabile del processo di analisi predittiva e di ottimizzazione in cui si sfruttano i dati archiviati nel modulo Data Management ed elaborati mediante il modulo Big Data Analytics. Il modulo Machine Learning & Optimization è alimentato dunque dal modulo Big Data Analytics e sebbene possa essere considerato un suo sottomodulo, nell'architettura InSite-Cloud è stato riportato come modulo a sé stante per via delle sue peculiare funzionalità dedicate all'addestramento di modelli di AI/ML. L'analisi predittiva prevede un workflow di Data Mining composto dalle seguenti fasi e responsabilità:

- Pre-processing dei dati e costruzione dei modelli di AI
- Addestramento dei modelli di AI
- Valutazione dei modelli e selezione del modello con le migliori performance
- Distribuzione del miglior modello e relativi parametri
- Previsione o inferenza
- Integrazione degli algoritmi di ottimizzazione per la stabilità statica e dinamica della SG
- Condivisione dei modelli dei modelli e relativi parametri a IoT-EMS che consentiranno a quest'ultima di ottenere accurati risultati in fase di inferenza.
- Condivisione dei punti di lavoro stabili e dell'area di stabilità della SG a IoT-EMS.

La costruzione della pipeline di Data Mining avverrà in maniera autonoma secondo la metodologia MLOps.

Il modulo Data **Visualization & Reporting** consente all'utente usufruttore dei servizi integrati in InSite-Cloud di avviare attività di monitoraggio e di reportistica, anche mediante strumenti di Business Intelligence. Le responsabilità del modulo Data Visualization & Reporting sono le seguenti:

- Fornire dashboard avanzate attraverso cui l'utente può avviare attività di analisi esplorativa dei dati in possesso.

- Gestione della reportistica.
- Gestione e controllo manuale o automatica della MG.
- Supporto alle decisioni in fase di ottimizzazione.

I moduli Data Management, Big Data Analytics, Data Visualization & Reporting saranno oggetto di studio nella linea di attività 1.4 *Design of Big Data analytics architecture*.

Il modulo **Security & Data Governance** garantisce un'interazione sicura ed affidabile in ogni fase del ciclo applicativo della soluzione in Cloud. Pertanto, agisce in maniera trasversale su tutta l'infrastruttura e copre tutti gli aspetti legati alla sicurezza in Cloud in ogni singolo modulo. Il concetto di sicurezza nell'ambito della cyber-security si estende su diversi aspetti, le cui responsabilità riguardano:

- Protezione dell'infrastruttura: progettazione ed installazione di componenti hardware e software per la sicurezza informatica con lo scopo di prevenire attacchi informatici di quali virus, malware, DDoS.
- Protezione su identità ed accesso sull'infrastruttura: sistemi di autenticazione ed autorizzazione per il controllo granulare degli accessi al fine di specificare chi o cosa può accedere alle risorse.
- Protezione dei dati: definizione di protocolli di comunicazione per favorire e proteggere lo scambio dati tra l'infrastruttura Cloud e le risorse on-premise e degli algoritmi di crittografia per tutelare sia i dati in transito che i dati depositati su Cloud.

Il modulo Security & Data Governance sarà oggetto di studio nella linea di attività 1.3 *Design of security protection layer*.

Riferimenti bibliografici

- [AAA22] Peteris Apse-Apsitis and Ansis Avotins. Single household power profile related to grid by every 0.2sec, 2022.
- [ADMSV15] Alba Amato, Beniamino Di Martino, Marco Scialdone, and Salvatore Venticquie. Towards a sla for collaborating smart solar-powered micro-grids. *Proceedings - 2014 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, IEEE INCoS 2014*, pages 592–597, 03 2015.
- [AGC15] AGCOM. Indagine conoscitiva concernente i servizi di comunicazione machine to machine (m2m), 2015. <https://www.agcom.it/documents/10179/1667676/Allegato+3-4-2015/0d62e670-be04-448b-9321-bc2d4363ec6a>].
- [AK19] Adil Ahmed and Muhammad Khalid. A review on the selected applications of forecasting models in renewable power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100:9–21, 2019.
- [Avn20] Avneet Singh, Joseph Beer. Real-time operational monitoring of renewable energy assets with aws iot, 2020. <https://aws.amazon.com/blogs/industries/real-time-operational-monitoring-of-renewable-energy-assets-with-aws-iot/>.
- [Bag20] Integration of cloud computing and iot (cloudiot) in smart grids: Benefits, challenges, and solutions. In *2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)*, pages 1–8, 2020.
- [BAL3] NERC Reliability Standard BAL. Frequency response and frequency bias setting, 3.
- [Bas19] Daniel Bastos. Cloud for iot—a survey of technologies and security features of public cloud iot solutions. In *Living in the Internet of Things (IoT 2019)*, pages 1–6. IET, 2019.
- [BFS⁺15] A. Bagnasco, F. Fresi, M. Saviozzi, F. Silvestro, and A. Vinci. Electrical consumption forecasting in hospital facilities: An application case. *Energy and Buildings*, 103:261–270, 2015.
- [BPB⁺14] Nipun Batra, Oliver Parson, Mario Berges, Amarjeet Singh, and Alex Rogers. A comparison of non-intrusive load monitoring methods for commercial and residential buildings. *arXiv:1408.6595*, 2014.

- [BpRN21] Sanghita Baidya, vidyasagar potdar, Partha Ray, and Champa Nandi. Reviewing the opportunities, challenges, and future directions for the digitalization of energy. *Energy Research Social Science*, 81:102243, 11 2021.
- [BU17] Islam Safak Bayram and Taha Selim Ustun. A survey on behind the meter energy management systems in smart grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72:1208–1232, 2017.
- [CDM20a] A. Cagnano, E. De Tuglie, and P. Mancarella. Microgrids: Overview and guidelines for practical implementations and operation. *Applied Energy*, 258:114039, 2020.
- [CDM20b] A. Cagnano, E. De Tuglie, and P. Mancarella. Microgrids: Overview and guidelines for practical implementations and operation. *Applied Energy*, 258:114039, 2020.
- [CGJ19] Long Cai, Jie Gu, and Zhijian Jin. Two-layer transfer-learning-based architecture for short-term load forecasting. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(3):1722–1732, 2019.
- [Cuz13] Cuzzolin. Enterprise architecture e soa in provincia di bolzano, 2013.
- [CWW⁺19] Songlin Chen, Hong Wen, Jinsong Wu, Wenxin Lei, Wenjing Hou, Wenjie Liu, Aidong Xu, and Yixin Jiang. Internet of things based smart grids supported by intelligent edge computing. *IEEE access*, 7:74089–74102, 2019.
- [CY13] Junwei Cao and Mingbo Yang. Energy internet—towards smart grid 2.0. In *2013 Fourth international conference on networking and distributed computing*, pages 105–110. IEEE, 2013.
- [Dil20] G. Dileep. A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 146:2589–2625, 2020.
- [DYCC15] Ruilong Deng, Zaiyue Yang, Mo-Yuen Chow, and Jiming Chen. A survey on demand response in smart grids: Mathematical models and approaches. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11:1–1, 06 2015.
- [EAZS22] Yasaman Ensafi, Saman Hassanzadeh Amin, Guoqing Zhang, and Bharat Shah. Time-series forecasting of seasonal items sales using machine learning—a comparative analysis. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(1):100058, 2022.

- [Flo17] Luciano Floridi. *La Quarta Rivoluzione: Come l'Infosfera Sta Trasformando Il Mondo*. Milan, Metropolitan City of Milan, Italy: Raffaello Cortina, 2017.
- [Fow03] Martin Fowler. *UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language*. Addison-Wesley, 3 edition, 2003.
- [FSZ19] Cong Feng, Mucun Sun, and Jie Zhang. Reinforced deterministic and probabilistic load forecasting via q -learning dynamic model selection. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(2):1377–1386, 2019.
- [GD20] Muhammed Zekeriya Gunduz and Resul Das. Cyber-security on smart grid: Threats and potential solutions. *Computer networks*, 169:107094, 2020.
- [Gou22] A survey on iot-enabled smart grids: Emerging, applications, challenges, and outlook. *Energies*, 15(19), 2022.
- [GP15] Rachel Golden and Bentham Paulos. Curtailment of renewable energy in california and beyond. *The Electricity Journal*, 28(6):36–50, 2015.
- [Gre22] Machine-learning sales forecasting: A review. *sage sci. rev. appl. mach. learn.* 2022, 5, 1–21, 2022.
- [Har08] David G Hart. Using ami to realize the smart grid. In *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, volume 10. sn, 2008.
- [HOF⁺20] Patrick Huber, Melvin Ott, Martin Friedli, Andreas Rumsch, and Andrew Paice. Residential power traces for five houses: the iHomeLab RAPT dataset. *Data*, 5(1):17, 2020.
- [HS19] Volker Hilt and Kevin Sparks. Future edge clouds. *Bell Labs Technical Journal*, 24:1–17, 2019.
- [JLL12] Li Ji, Wang Lifang, and Yan Li. Cloud service based intelligent power monitoring and early-warning system. In *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, pages 1–4. IEEE, 2012.
- [KJ20] Ravi Kishore Kodali and Jeswin John. Smart monitoring of solar panels using AWS. pages 422–427, 2020.
- [KKYT11] Hongseok Kim, Young-Jin Kim, Kai Yang, and Marina Thottan. Cloud-based demand response for smart grid: Architecture and distributed algorithms. In *2011 IEEE international conference on smart grid communications (SmartGridComm)*, pages 398–403. IEEE, 2011.

- [KSN96] GN Kariniotakis, GS Stavrakakis, and EF Nogaret. Wind power forecasting using advanced neural networks models. *IEEE transactions on Energy conversion*, 11(4):762–767, 1996.
- [Lab19] Wael Labidi. *Smart grid-aware radio engineering in 5G mobile networks*. PhD thesis, 03 2019.
- [LGXL22] Junlong Li, Chenghong Gu, Yue Xiang, and Furong Li. Edge-cloud computing systems for smart grid: State-of-the-art, architecture, and applications. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 10(4):805–817, 2022.
- [LL12] Xuan Li and Jine-Chung Lo. Pricing and peak aware scheduling algorithm for cloud computing. In *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, pages 1–7. IEEE, 2012.
- [LNP⁺20] Sonia Leva, Alfredo Nespoli, Silvia Pretto, Marco Mussetta, and Emanuele Giovanni Carlo Ogliari. Pv plant power nowcasting: A real case comparative study with an open access dataset. *IEEE Access*, 8:194428–194440, 2020.
- [LS17] Matteo La Scala. *From Smart Grids to Smart Cities: New Challenges in Optimizing Energy Grids*. Wiley-ISTE, 1 edition, 2017.
- [LYD⁺18] Wei Li, Ting Yang, Flavia C Delicato, Paulo F Pires, Zahir Tari, Samee U Khan, and Albert Y Zomaya. On enabling sustainable edge computing with renewable energy resources. *IEEE communications magazine*, 56(5):94–101, 2018.
- [LZL18] Xiaochuan Luo, Song Zhang, and Eugene Litvinov. Practical design and implementation of cloud computing for power system planning studies. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(2):2301–2311, 2018.
- [MASA20] Vitor Monteiro, Jose Afonso, Tiago Sousa, and Joao L Afonso. The role of off-board ev battery chargers in smart homes and smart grids: operation with renewables and energy storage systems. *Electric Vehicles in Energy Systems: Modelling, Integration, Analysis, and Optimization*, pages 47–72, 2020.
- [MEE⁺14] Andrea Monacchi, Dominik Egarter, Wilfried Elmenreich, Salvatore D’Alessandro, and Andrea M. Tonello. Greend: An energy consumption dataset of households in italy and austria. In *2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, pages 511–516, 2014.
- [MG11] Peter Mell and Timothy Grance. The nist definition of cloud computing. national institute of standards and technology special publication 800-145. *Gaithersburg: US Department of Commerce. Google Scholar*, 2011.

- [MKSO13] Sudip Misra, P Venkata Krishna, Vankadara Saritha, and Mohammad S Obaidat. Learning automata as a utility for power management in smart grids. *IEEE Communications Magazine*, 51(1):98–104, 2013.
- [MM20] Carlos Antonio Marino and Mohammad Marufuzzaman. A microgrid energy management system based on chance-constrained stochastic optimization and big data analytics. *Computers & Industrial Engineering*, 143:106392, 2020.
- [NG11] Parastoo Nezamabadi and GB Gharehpetian. Electrical energy management of virtual power plants in distribution networks with renewable energy resources and energy storage systems. In *16th Electrical Power Distribution Conference*, pages 1–5. IEEE, 2011.
- [NID⁺16] P Naveen, Wong Kiing Ing, Michael Kobina Danquah, Amandeep S Sidhu, and Ahmed Abu-Siada. Cloud computing for energy management in smart grid - an application survey. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 121(1):012010, mar 2016.
- [Nix20] Nix-United. Solution architect: Role description, responsibilities, and functions, 2020. <https://nix-unique.com/blog/solution-architect-role-description-responsibilities-and-functions/>.
- [NZF20] Zheng Nie, Jianmin Zhang, and Huawei Fu. Key technologies and application scenario design for making distribution transformer terminal unit being a containerized edge node. *Automation of Electric Power Systems*, 44(3):154–161, 2020.
- [PHG16] Bryony Parrish, Phil Heptonstall, and Robert Gross. The potential for uk residential demand side participation. 05 2016.
- [PM17] Jianli Pan and James McElhannon. Future edge cloud and edge computing for internet of things applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1):439–449, 2017.
- [PM20] Songsiri J. et al. Pipattanasomporn M., Chitalia G. CU-BEMS, smart building electricity consumption and indoor environmental sensor datasets. *Sci Data*, 7:241, 2020.
- [RA11] T Rajeev and S Ashok. A cloud computing approach for power management of microgrids. In *ISGT2011-India*, pages 49–52. IEEE, 2011.
- [RBKS22] Osama Bassam J. Rabie, Praveen Kumar Balachandran, Mohammed Khojah, and Shitharth Selvarajan. A proficient zeso-drkfc model for smart grid scada security. *Electronics*, 11(24), 2022.

- [Rif11] Jeremy Rifkin. *The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world*. Macmillan, 2011.
- [SAK⁺13] Yogesh Simmhan, Saima Aman, Alok Kumbhare, Rongyang Liu, Sam Stevens, Qunzhi Zhou, and Viktor Prasanna. Cloud-based software platform for big data analytics in smart grids. *Computing in Science & Engineering*, 15(4):38–47, 2013.
- [SBAM20] Shahriar Saadat, Sahba Bahizad, Thnwa Ahmed, and Samantha Maingot. Smart grid and cybersecurity challenges. In *2020 5th IEEE Workshop on the Electronic Grid (eGRID)*, pages 1–8, 2020.
- [Sim21] Wind power generation data, 2021. <https://www.kaggle.com/dsv/1825731/>.
- [Sin17] Sachchidanand Singh. Optimize cloud computations using edge computing. In *2017 International Conference on Big Data, IoT and Data Science (BIG)*, pages 49–53. IEEE, 2017.
- [SKM⁺20] Ahsan Saleem, Abid Khan, Saif Ur Rehman Malik, Haris Pervaiz, Hassan Malik, Masoom Alam, and Anish Jindal. Fesda: Fog-enabled secure data aggregation in smart grid iot network. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(7):6132–6142, 2020.
- [SL18] Abhishek Sharma and Jason Lucas. Tools and methods for real-time dataflow programming language, November 13 2018. US Patent 10,127,022.
- [SR22] Upma Singh and M. Rizwan. Scada system dataset exploration and machine learning based forecast for wind turbines. *Results in Engineering*, 16:100640, 2022.
- [SS22] Neelanjali Srivastav Saurabh Shrivastava. *Solutions Architect's Handbook - Second Edition*. Birmingham, Packt Publishing Ltd, 2022.
- [SSC⁺20] Jones Luís Schaefer, Julio Cezar Mairesse Siluk, Patrícia Stefan de Carvalho, José Renes Pinheiro, and Paulo Smith Schneider. Management challenges and opportunities for energy cloud development and diffusion. *Energies*, 13(16), 2020.
- [SSM⁺22] Seshapalli Sairam, Subathra Seshadhri, Giancarlo Marafioti, Seshadhri Srinivasan, Geir Mathisen, and Korkut Bekiroglu. Edge-based explainable fault detection systems for photovoltaic panels on edge nodes. *Renewable Energy*, 185:1425–1440, 2022.

- [TLW12] Liangrui Tang, Jiale Li, and Runze Wu. Synergistic model of power system cloud computing based on mobile-agent. In *2012 3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content*, pages 222–226. IEEE, 2012.
- [VMR21] Javier Valdes, Yunesky Masip Macia, Wolfgang Dorner, and Luis Ramirez Camargo. Unsupervised grouping of industrial electricity demand profiles: Synthetic profiles for demand-side management applications. *Energy*, 215:118962, 2021.
- [VR21] Javier Valdes and Luis Ramirez Camargo. Synthetic hourly electricity load data for the paper and food industries. *Data in Brief*, 35:106903, 2021.
- [VVR⁺10] Perukrishnen Vytelingum, Thomas D Voice, Sarvapali D Ramchurn, Alex Rogers, and Nicholas R Jennings. Agent-based micro-storage management for the smart grid. 2010.
- [WLL⁺19] Yanru Wang, Haifeng Liu, Lin Li, et al. Application of image recognition technology based on edge intelligence analysis in transmission line online monitoring. *Electric Power Information and Communication Technology*, 17(7):35–40, 2019.
- [WN08] Caisheng Wang and M Hashem Nehrir. Power management of a stand-alone wind/photovoltaic/fuel cell energy system. *IEEE transactions on energy conversion*, 23(3):957–967, 2008.
- [Xin21] Xin Li, Avneet Singh, Greg Thompson, and Joseph Beer. How amazon achieves near-real-time renewable energy plant monitoring to optimize performance using aws, 2021. <https://aws.amazon.com/blogs/industries/amazon-achieves-near-real-time-renewable-energy-plant-monitoring-to-optimize>
- [YCC⁺19] J Yang, Y Chen, J Chen, et al. The future development mode of sharing electric vehicles in the cities. *Electric Power Construction*, 40(4):49–59, 2019.
- [YCH⁺12] Chao-Tung Yang, Wei-Sheng Chen, Kuan-Lung Huang, Jung-Chun Liu, Wen-Hung Hsu, and Ching-Hsien Hsu. Implementation of smart power management and service system on cloud computing. In *2012 9th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and 9th International Conference on Autonomic and Trusted Computing*, pages 924–929. IEEE, 2012.
- [ZPL⁺22] Song Zhang, Amritanshu Pandey, Xiaochuan Luo, Maggy Powell, Ranjan Banerji, Lei Fan, Abhineet Parchure, and Edgardo Luzcando. Practical adoption of cloud computing in power systems—drivers, challenges, guidance, and real-world use cases. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 13(3):2390–2411, 2022.