

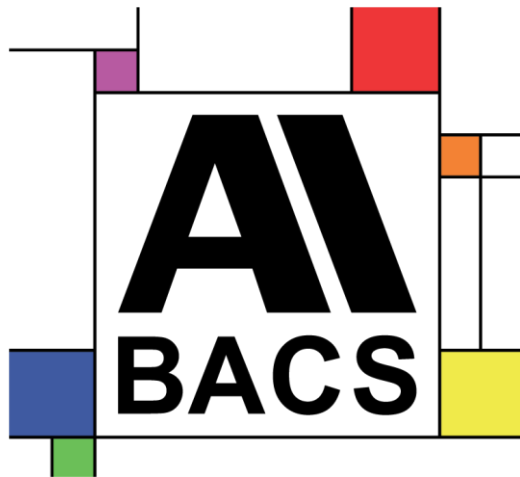
SMART[®] BUILDING EXPO

THE EUROPEAN EVENT
ON THE DIGITAL AND ENERGY
TWIN TRANSITION
OF BUILDINGS AND CITIES

19 | 21 NOV 2025
FIERAMILANO



ASSOCIAZIONE ITALIANA
BUILDING AUTOMATION
AND CONTROL SYSTEMS



ASSOCIAZIONE ITALIANA
BUILDING AUTOMATION
AND CONTROL SYSTEMS

A CHI CI RIVOLGIAMO

- **System Integrator**
- **Progettisti**
- **«Smart Installer»**
- **Investitori mercato immobiliare**
- **Produttori**



Prospettive e sfide dell'integrazione dell'IA nei BACS

Alfonso Capozzoli



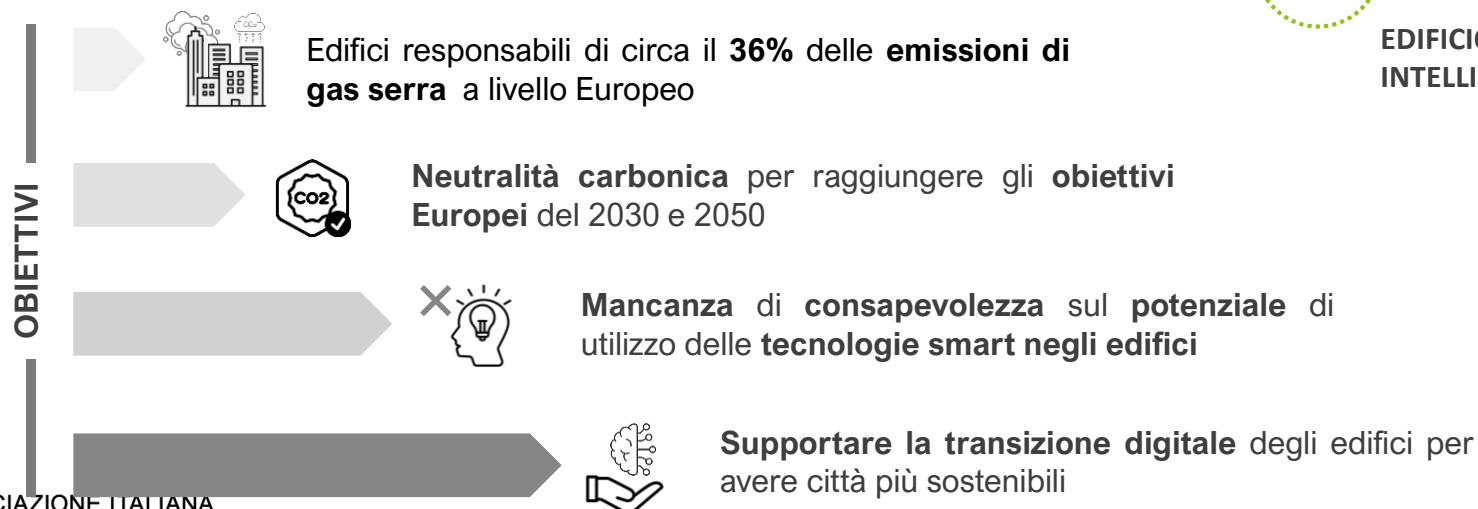
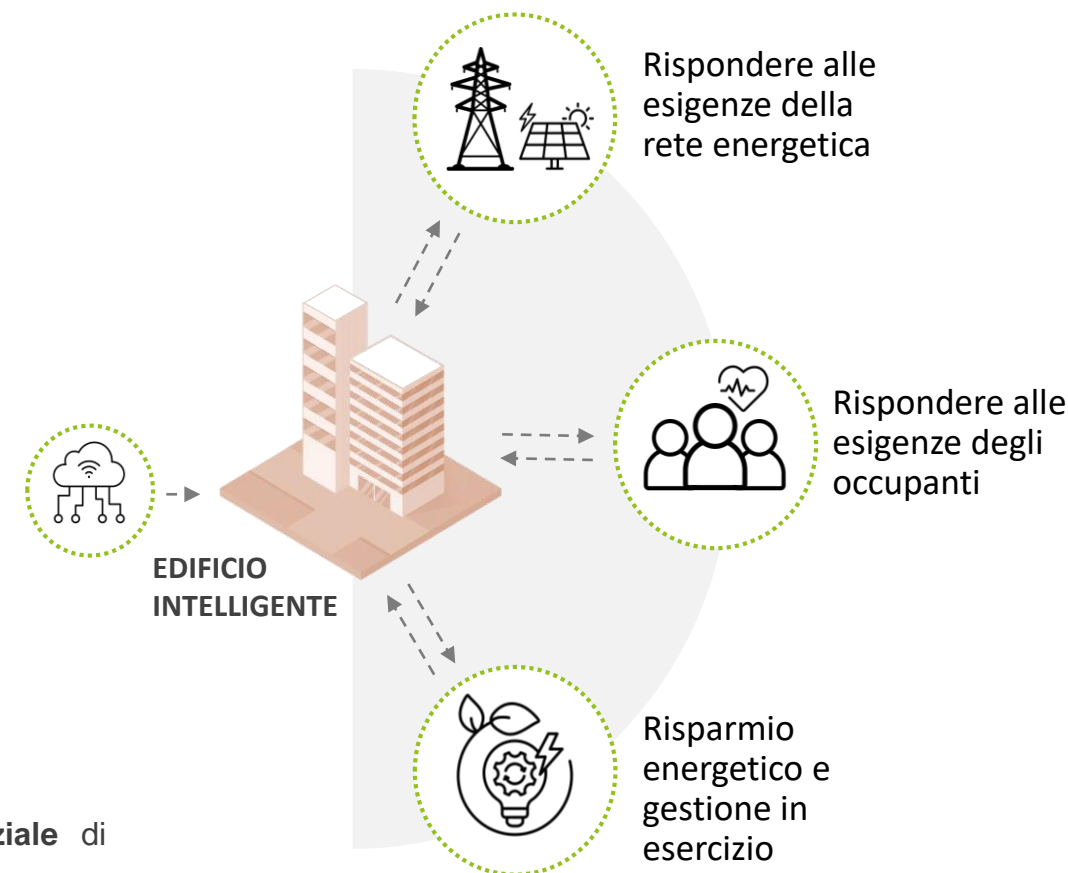
**Politecnico
di Torino**

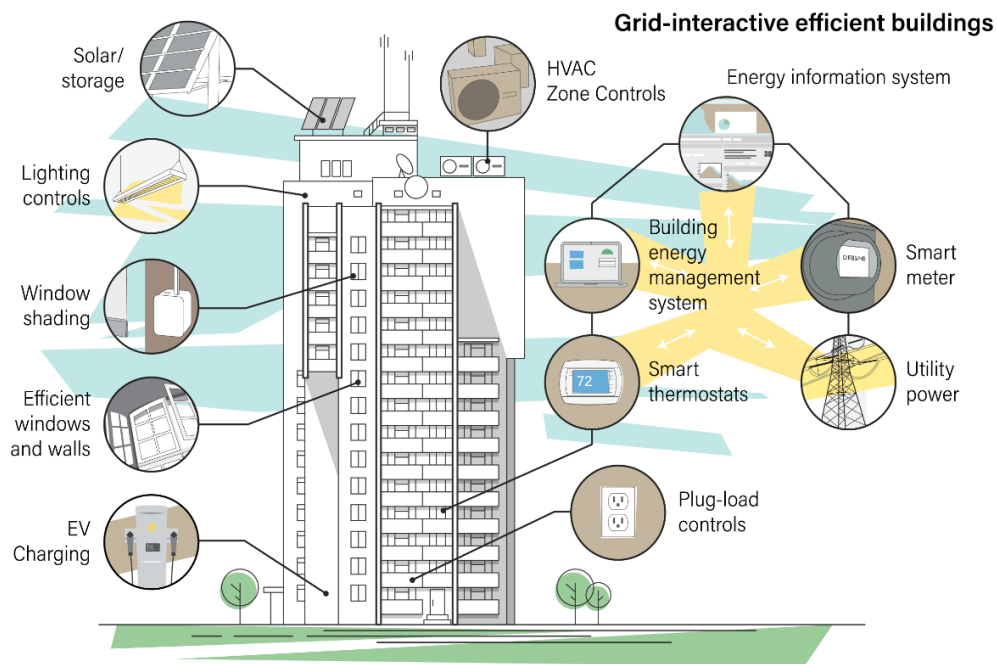
Department of Energy
"G.Ferraris"



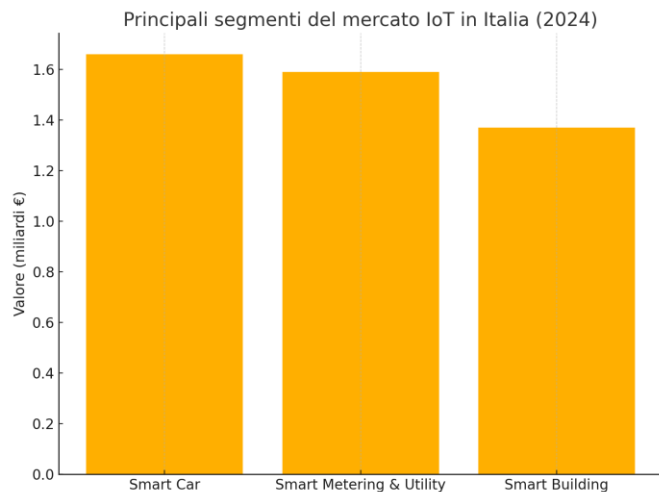
La nuova EPBD enfatizza il potenziale delle tecnologie intelligenti, per migliorare sia l'efficienza energetica, sia l'interazione con le reti energetiche che il benessere degli occupanti. I sistemi di gestione, automazione e controllo rappresentano la tecnologia chiave:

- Introduzione obbligatoria dell'indicatore di predisposizione all'intelligenza degli edifici (SRI)
- Introduzione obbligatoria dei BACS che devono essere interoperabili e in grado di monitorare, registrare, analizzare
- L'installazione di dispositivi di misura e controllo della qualità ambientale interna
- Metodologia di calcolo che consideri la gestione delle fonti rinnovabili in loco, delle infrastrutture di ricarica bidirezionale e del contributo dei BACS per ottimizzare le prestazioni

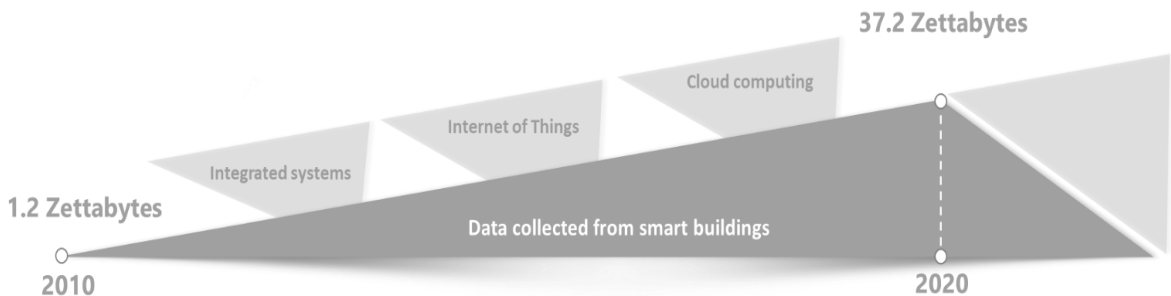




Il mercato italiano dell'Internet of Things ha registrato una crescita significativa dal 2016 al 2024, **passando da 2,8 miliardi di euro a 9,7 miliardi di euro**. Questa tendenza evidenzia l'adozione crescente di soluzioni IoT nel Paese.

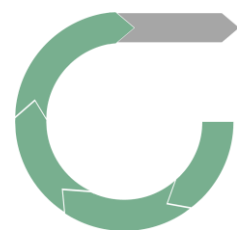


Fonte: Osservatorio Internet of Things, Politecnico di Milano
Internet of Things (IoT) in Energy Market - Growth Rate by Region (2021 - 2026)

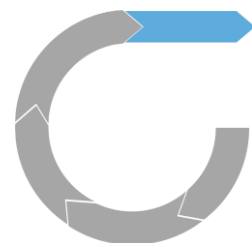


“In theory, there is no difference between theory and practice” ...But, in practice, there is”

Jan L. A. van de Snepscheut

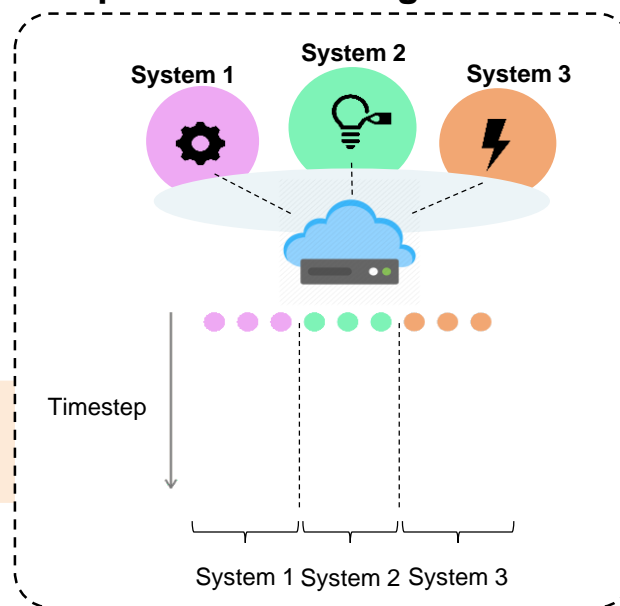


Progetto



In esercizio

Acquisizione ed integrazione dati



L'implementazione dei sistemi di gestione energetica per individuare:

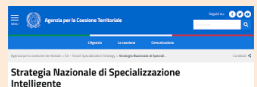
- Scarsa manutenzione
- Malfunzionamento componenti
- Comportamento ed interazione degli occupanti
- Impostazioni di controllo errate o sub-ottimali
- Interazione con la rete energetica e sfruttamento fonti energetiche rinnovabili



Regolamenti e direttive



EPBD



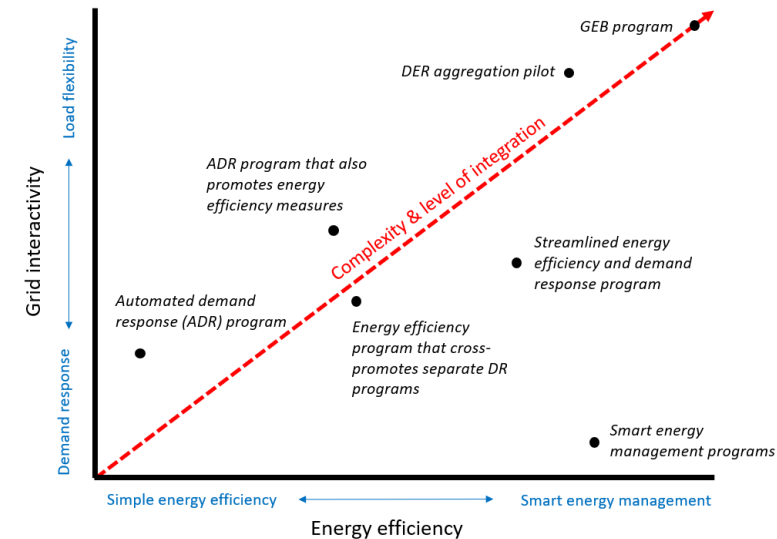
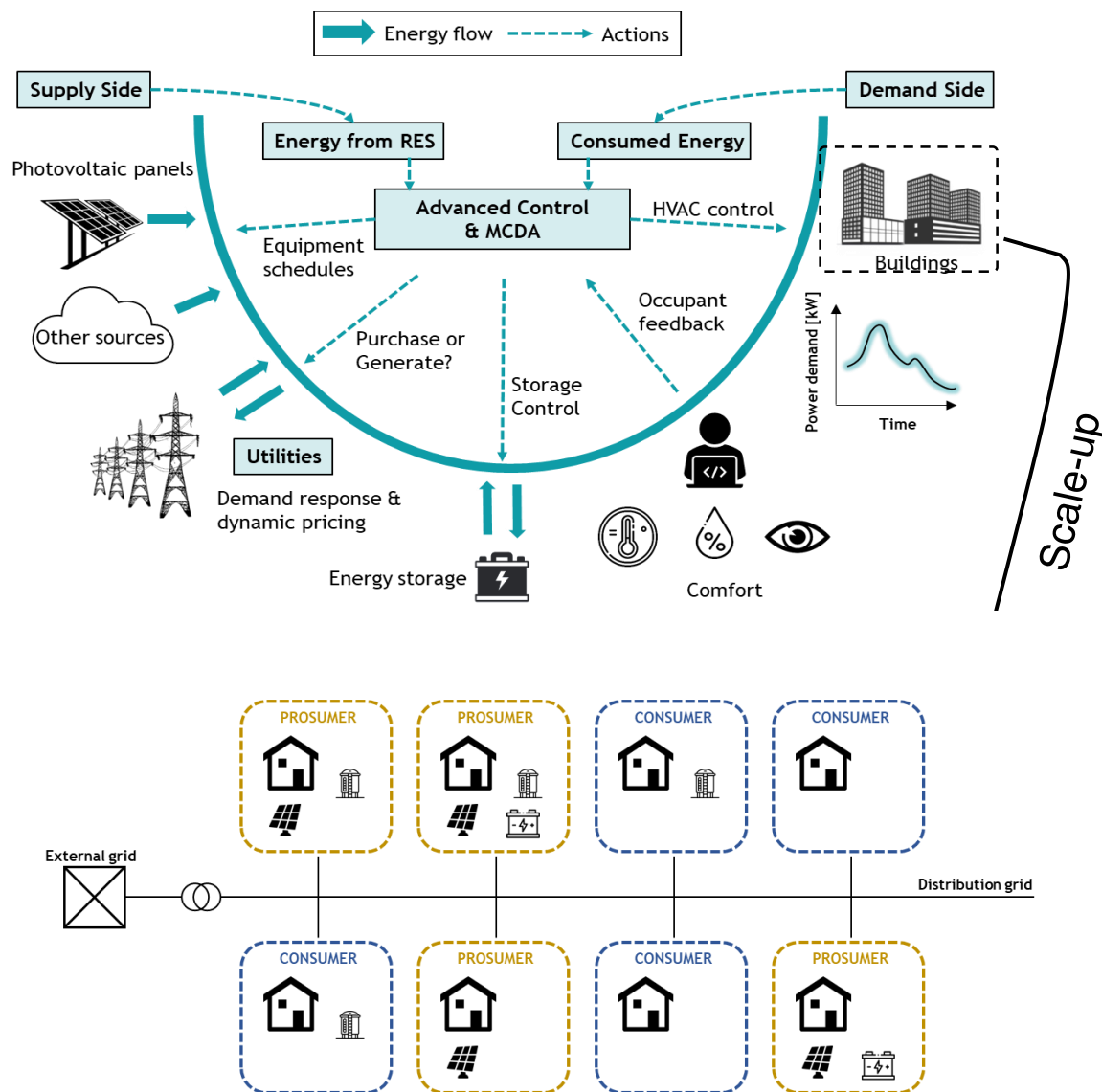
Esperienza di dominio in campo energetico

Esperienza di dominio in Data Analytics

- ✓ **Esplorazione e caratterizzazione** per scoprire la conoscenza nascosta
- ✓ **Regressione e classificazione** per la predizione

- ✓ Definizione degli obiettivi
- ✓ Ingegnerizzazione delle variabili
- ✓ Selezione del modello
- ✓ Interpretazione

Gestire la complessità per una transizione green

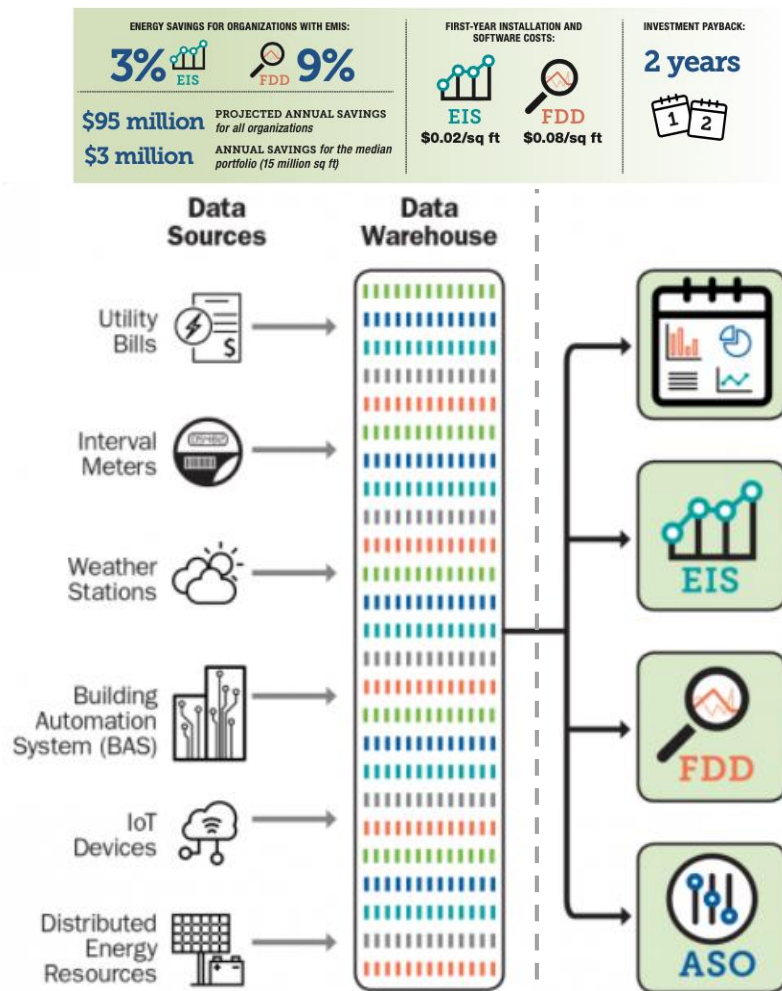


- **Digitalizzazione:** i dati vengono raccolti attraverso infrastrutture di monitoraggio (BACS e smart meter).
- **Decarbonizzazione:** penetrazione della produzione di FER abbinata a sistemi di accumulo, per bilanciare la produzione e il fabbisogno energetico.
- **Decentralizzazione:** paradigmi basati sulla gestione energetica cooperativa per ottimizzare gruppi di edifici per raggiungere un obiettivo globale di distretto (comunità energetiche).

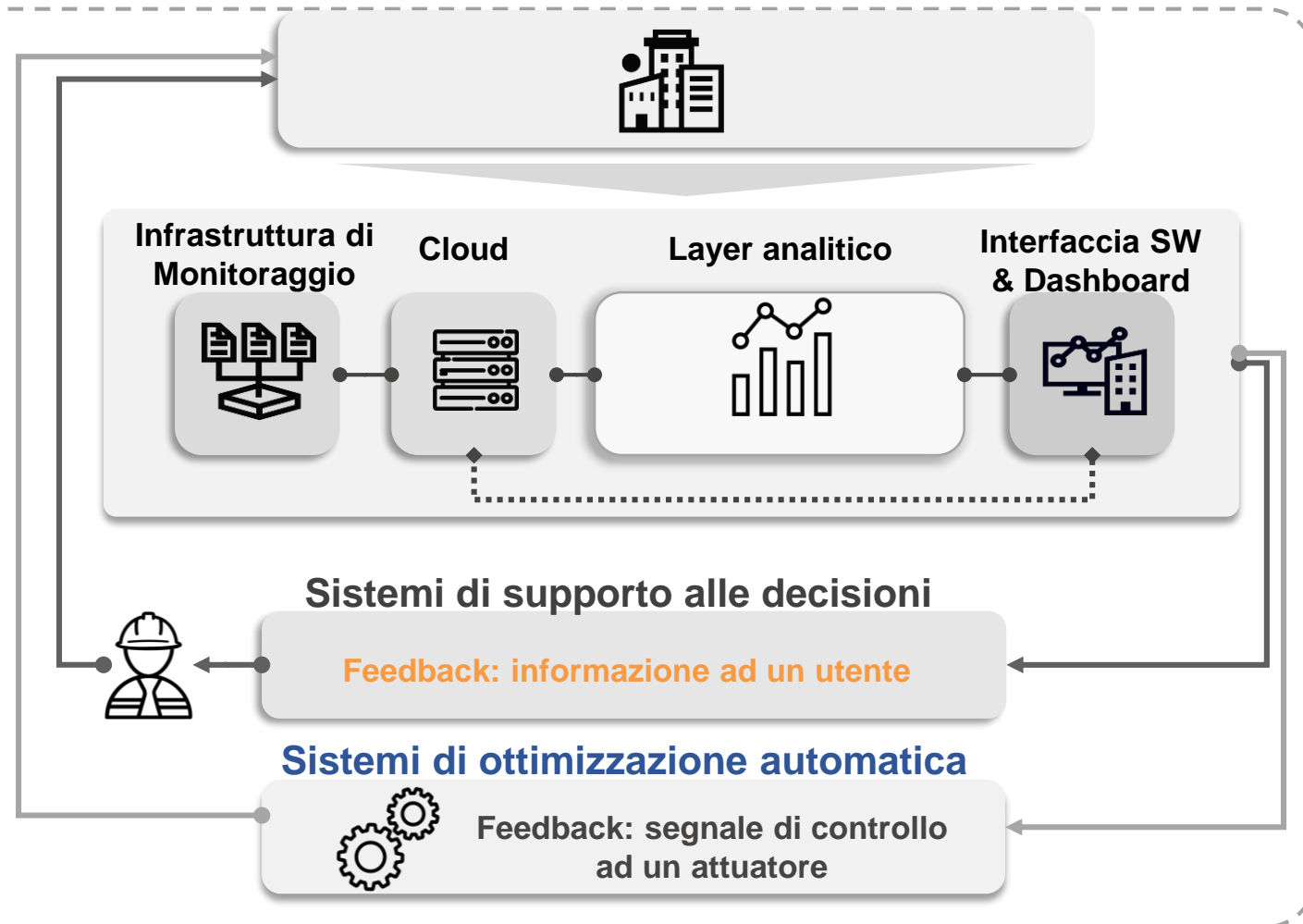
Un nuova generazione di sistemi di gestione energetica basati su IA

Il 40% dei gestori immobiliari considera l'IA per il controllo energetico come tecnologia strategica per raggiungere la carbon neutrality entro 5 anni

(Fonte: Schneider Electric – <https://www.se.com/ww/en/about-us/newsroom/news/press-releases/smart-buildings-strategic-ai>)



Fonte
: <https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/b eat-blog/smart-energy-analytics-are-key-building-energy-and-cost-savings>



Driver a supporto delle decisioni: le tipologie di dati e metadati

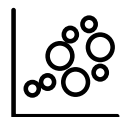
- **Prezzi dell'energia ToU:** utilizzato per eseguire la ripartizione e l'analisi dei costi energetici.
- **Schedule operative e di produzione:** utilizzate per estrarre modelli di riferimento specifici per periodi temporali o variabili di produzione (analisi relative alla produzione, ad esempio, quantità di kWh/prodotto).
- **Occupazione:** utilizzata per confrontare i modelli di occupazione previsti e quelli reali ed eseguire l'analisi delle prestazioni energetiche correlate.
- **Condizioni climatiche:** utilizzate per la caratterizzazione dei consumi termici/elettrici associati ad esempio a servizi per la climatizzazione.
- **Dati energetici:** misure relative ai principali vettori energetici dell'edificio (principalmente il vettore elettrico).
- **Misure di qualità dell'ambiente interno:** relative alla qualità dell'ambiente interno (ad esempio, CO₂, temperatura, UR).



La nuova generazione di sistemi di gestione dell'energia basati su IA

Energy Information System

ALTO livello
Open Loop



Energy
profiling



Predizione del
carico



Identificazione e
diagnosi di anomalie



Visualizzazioni
avanzate



Gestione
dell'occupante

Automated System Optimisation

BASSO livello
Closed Loop



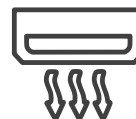
Controllo RES



Demand
Response



Controllo componenti
di involucro adattativo



Controllo
sistemi HVAC

Opportunità

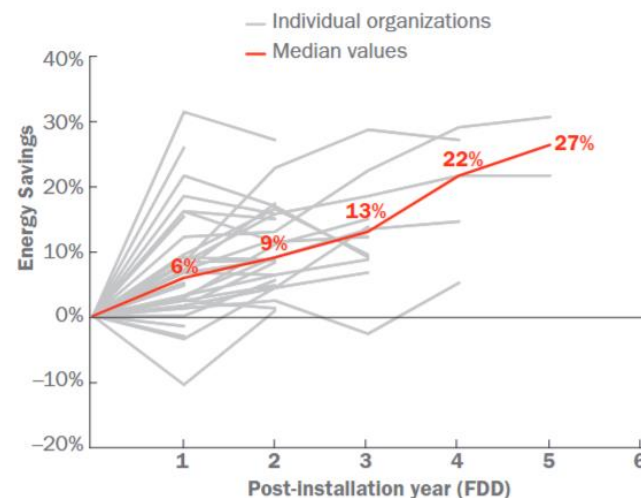
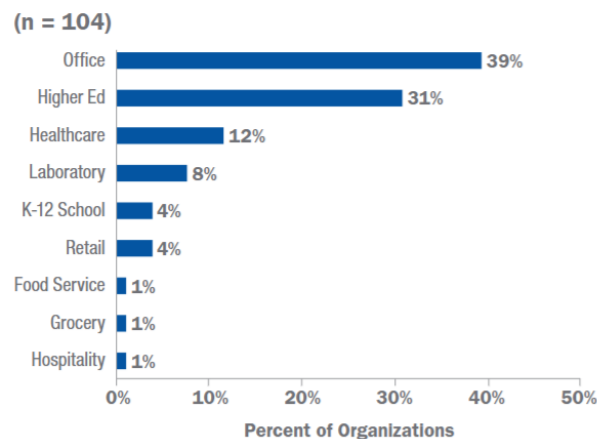
- **Continuous commissioning**, diagnosi e manutenzione del sistema
- Caratterizzazione del **profilo della domanda** per iniziative di gestione del carico e di domanda attiva
- Caratterizzazione del **comportamento degli occupanti** e profili occupazionali
- **Controllo predittivo e adattivo** per sistemi energetici componenti/tecnologie responsive

I numeri della manutenzione predittiva – Smart analytics campaign

Benefici strumenti di FDD	
Risparmio energetico mediano dopo 2 anni	9% Intervallo: 1% a 28%
Costo base mediano (software + installazione)	0,594 €/m ²
Costo annuo ricorrente mediano	0,198 €/m ² / anno
Lavoro interno mediano	8 ore/edificio al mese
Periodo mediano di ritorno semplice dell'investimento	2 anni (n = 17)

- Controllori (attuatori/valvole/inverter)
- Serrande (UTA e unità terminali)
- Valvole e batterie (raffreddamento/riscaldamento)
- Funzionamento dell'economizzatore
- Riscaldamento e raffreddamento simultaneo

<https://smartenergyanalytics.org/>

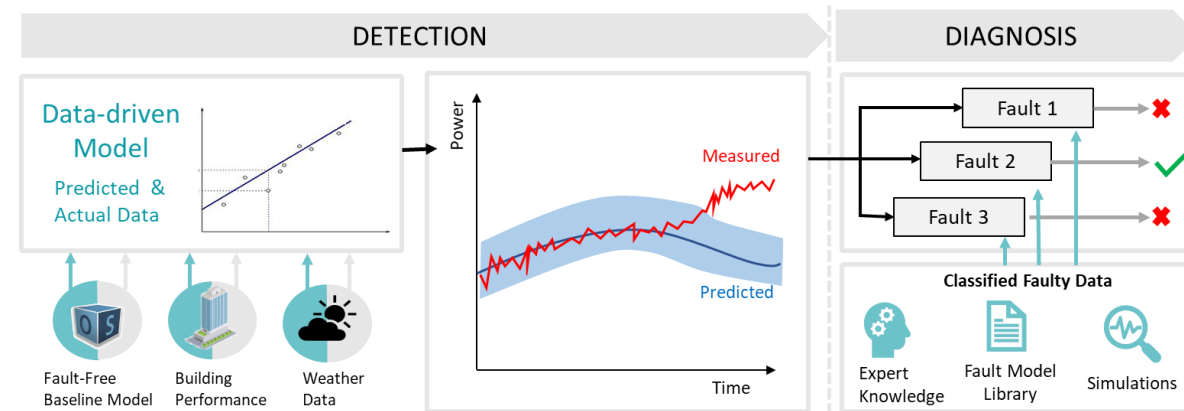
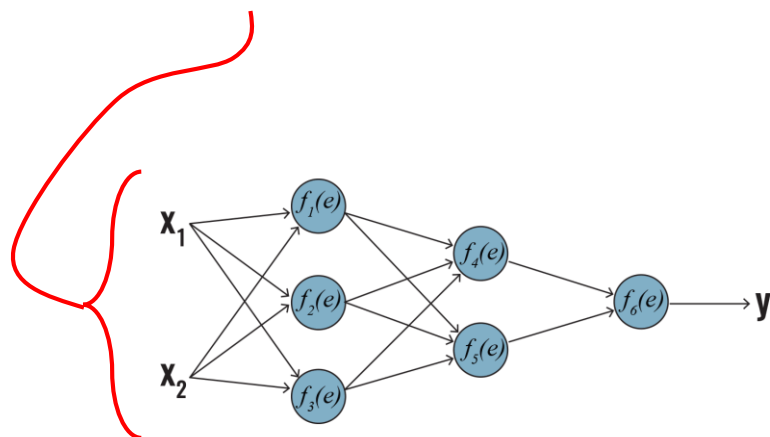
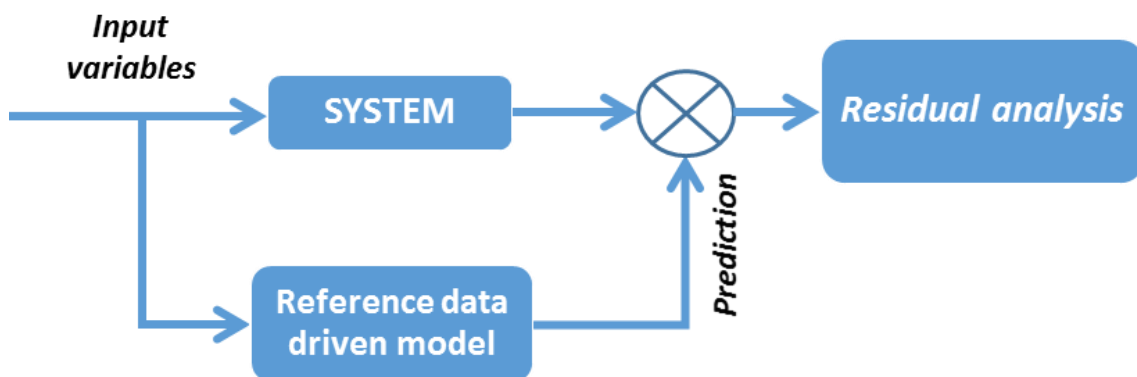


Il processo data-driven di identificazione e diagnosi dei guasti e delle anomalie in sistemi energetici

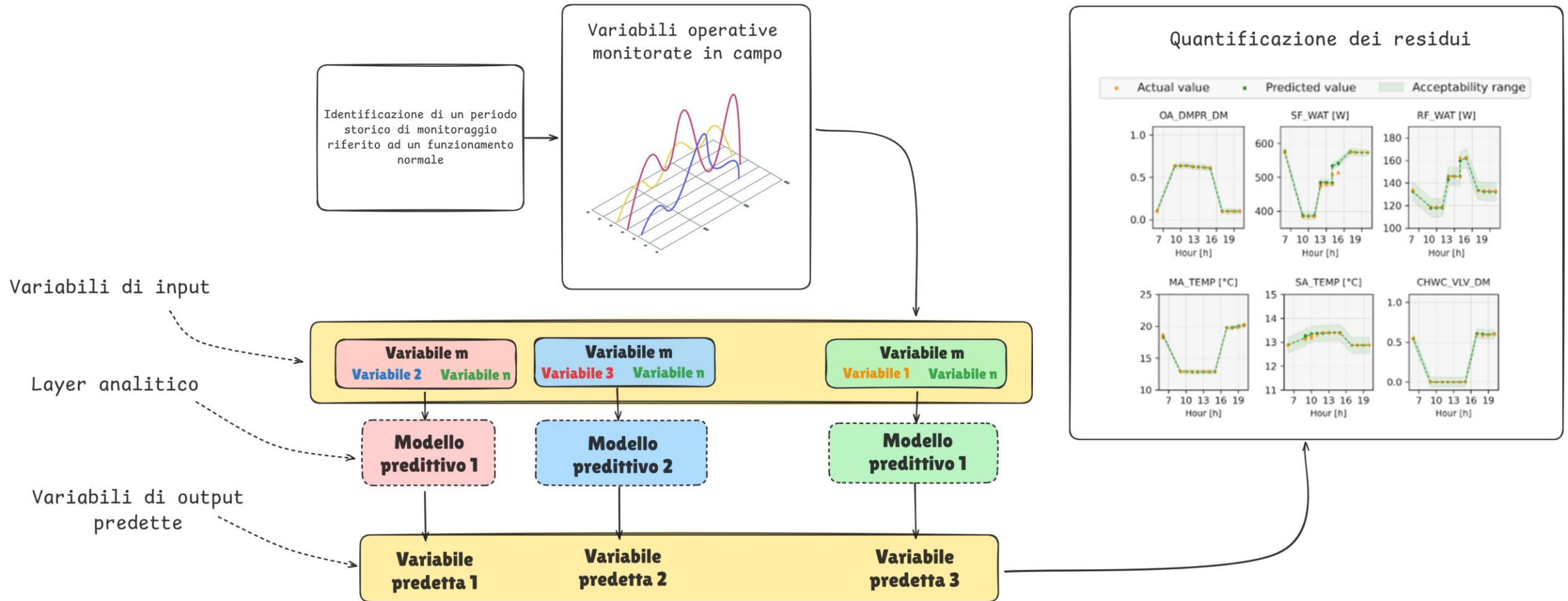
Caratterizzazione del funzionamento senza guasti

Confronto tra il comportamento stimato del sistema e quello reale

Analisi delle deviazioni per la diagnosi



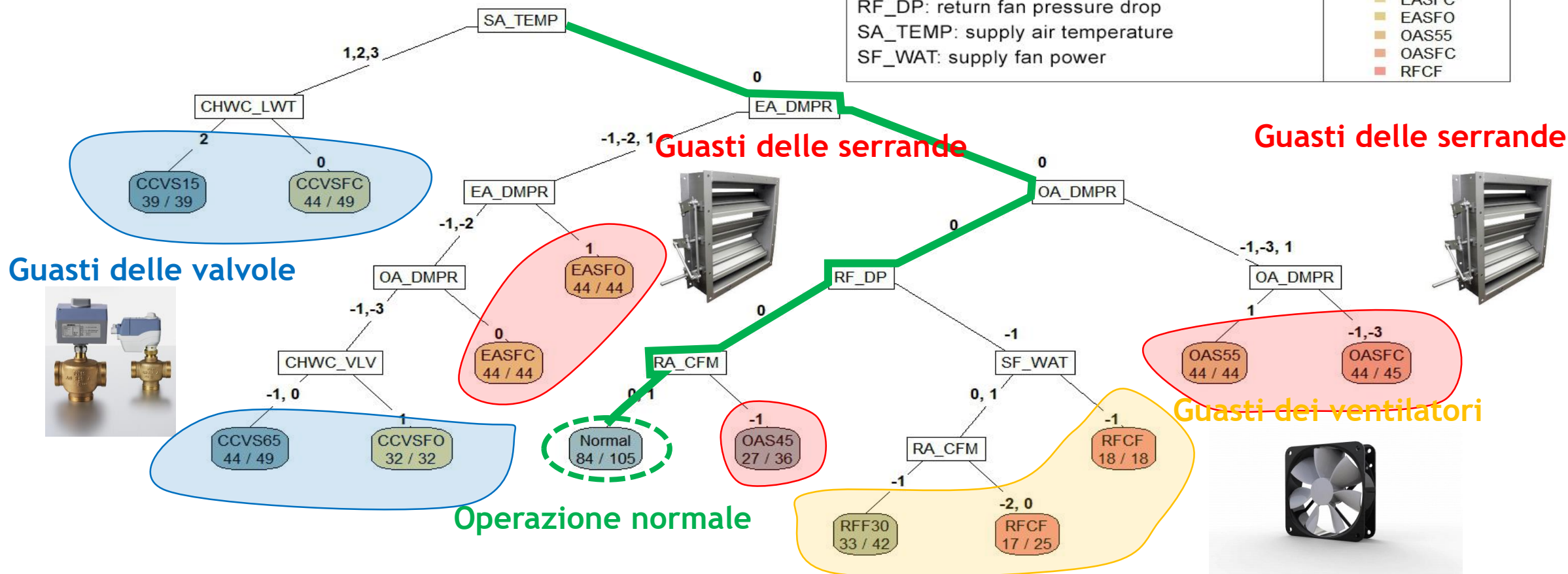
Identificazione dei guasti nei sistemi HVAC sfruttando modelli di baseline basati su AI



Diagnosi dei guasti nei sistemi HVAC sfruttando modelli basati su AI

Fino ad 11 guasti tipologici in unità di trattamento aria diagnosticati con un accuratezza del 90%

Nomenclature of the input variables	Predicted fault tag
CHWC_LWT: cooling coil outlet water temperature	CCVS15
CHWC_VLV: cooling coil valve position	CCVS65
EA_DMPR: exhaust air damper position	Normal
OA_DMPR: outdoor air damper position	OAS45
RA_CFM: return air flow rate	RFF30
RF_DP: return fan pressure drop	CCVSFC
SA_TEMP: supply air temperature	CCVSFO
SF_WAT: supply fan power	EASFC
	EASFO
	OAS55
	OASFC
	RFCF



Piscitelli, M. S., Mazzarelli, D. M., & Capozzoli, A. (2020). Enhancing operational performance of AHUs through an advanced fault detection and diagnosis process based on temporal association and decision rules. Energy and Buildings, 226, 110369.

FDD data-driven nei sistemi HVAC – verso un'implementazione reale

Retro-commissioning FDD

Livello 1: Analisi dei consumi energetici e dei programmi operativi

Livello 2: Analisi delle sequenze logiche e dei guasti hardware

Servizi abilitati

- Estrazione di trend energetici e operativi di normale funzionamento
- Identificazione di guasti dei componenti e logiche di gestione e controllo inefficienti
- Reset dei setpoint e logiche di controllo in linea con i protocolli internazionali



Requisito

Snapshot di dati storici

Continuous commissioning FDD

- Implementazione di un insieme di regole decisionali esperte e personalizzate

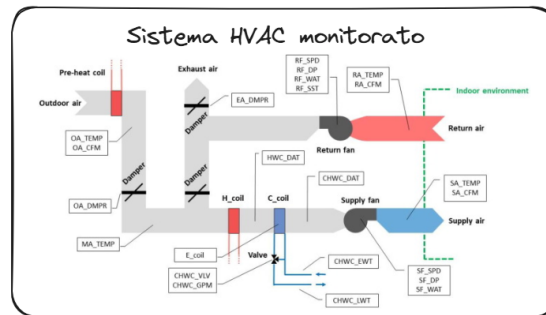
Servizi abilitati

- Rilevamento in tempo reale di pattern operativi anomali
- Diagnosi in tempo reale di guasti su sensori, valvole, ventilatori e serrande



Requisito

Flusso di dati proveniente dal sistema BACS

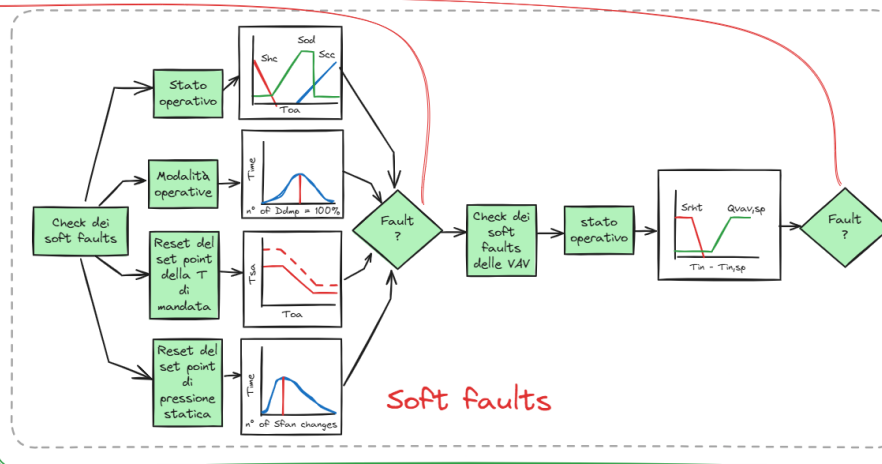
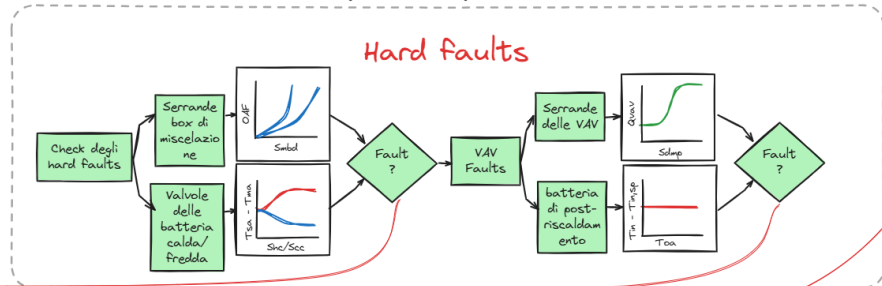


- L'utente è consapevole dei consumi energetici e dei modelli operativi del sistema?
- Il controllo dei componenti si discosta consapevolmente dalle buone pratiche?
- Esistono vincoli relativi al funzionamento previsto del sistema?

Comprendere come viene gestito il sistema e confrontare i trendestratti con le buone pratiche.

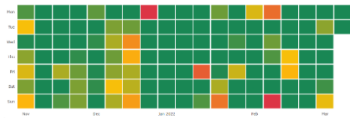
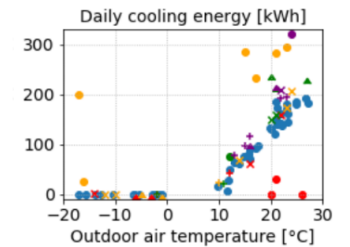
Identificazione dei potenziali problemi da risolvere:

- Hard faults (rottura di un componente)
- Soft Faults (logiche di gestione e controllo inefficienti)



Analisi dei

- consumi di energia
- schedule operazionali



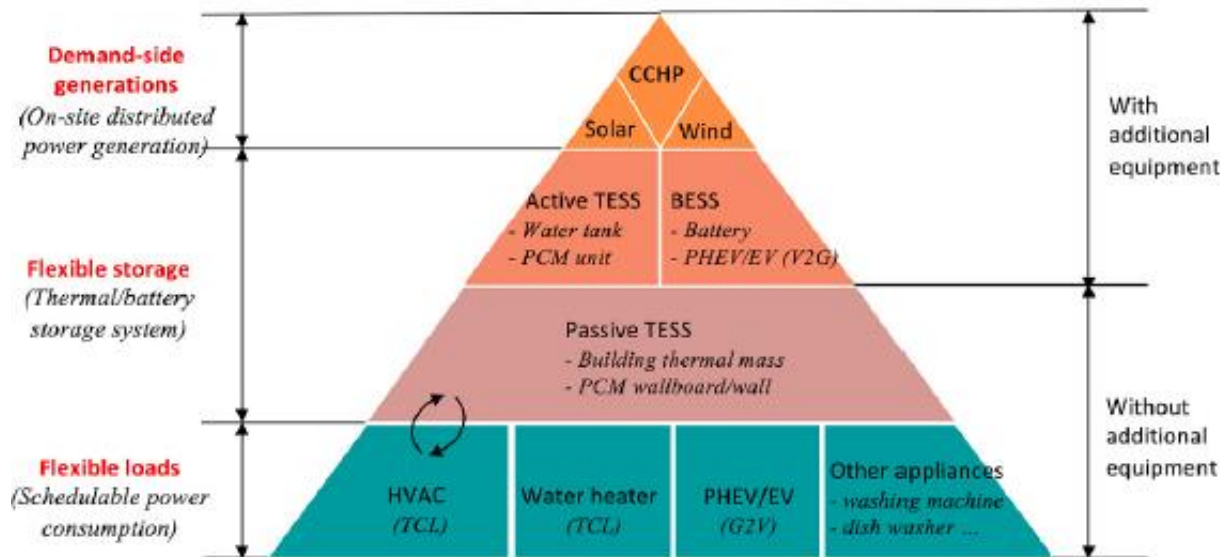
Analisi di 1 livello



Flessibilità energetica degli edifici

La penetrazione di fonti di energia rinnovabili pone delle sfide nella gestione dei sistemi energetici.

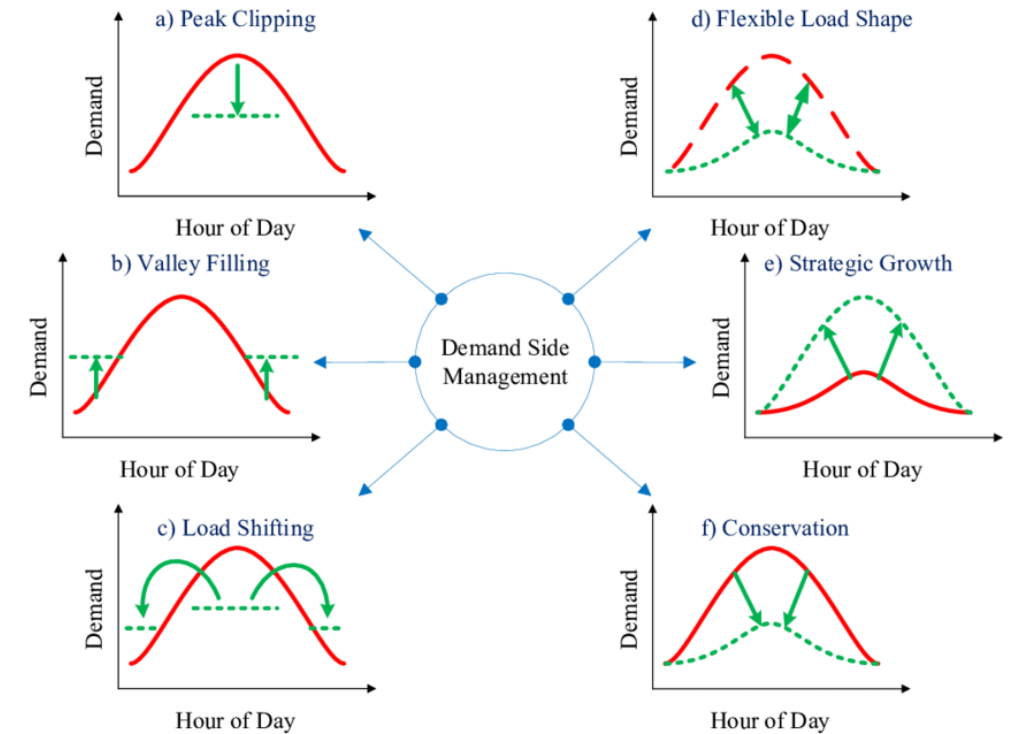
La capacità degli edifici di reagire ai segnali esterni e di regolare la propria produzione e il proprio consumo di energia, individualmente o attraverso l'aggregazione, in modo dinamico e dipendente dal tempo



Fonte: M.Hu et al., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020

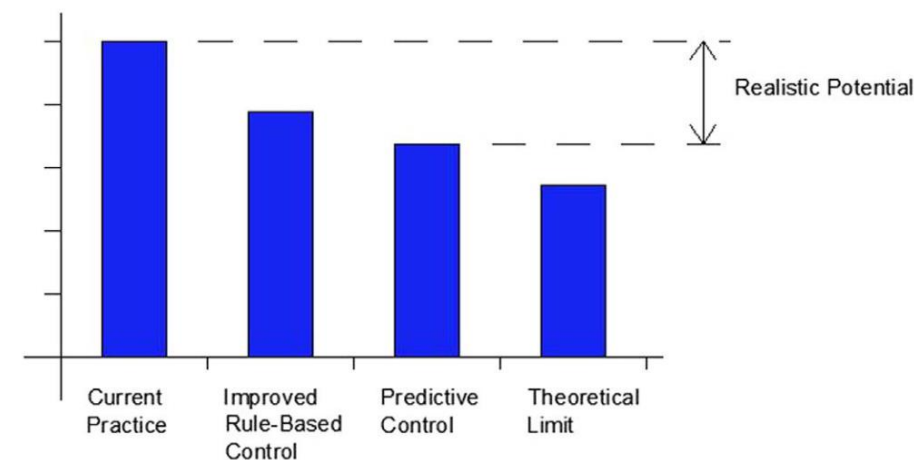
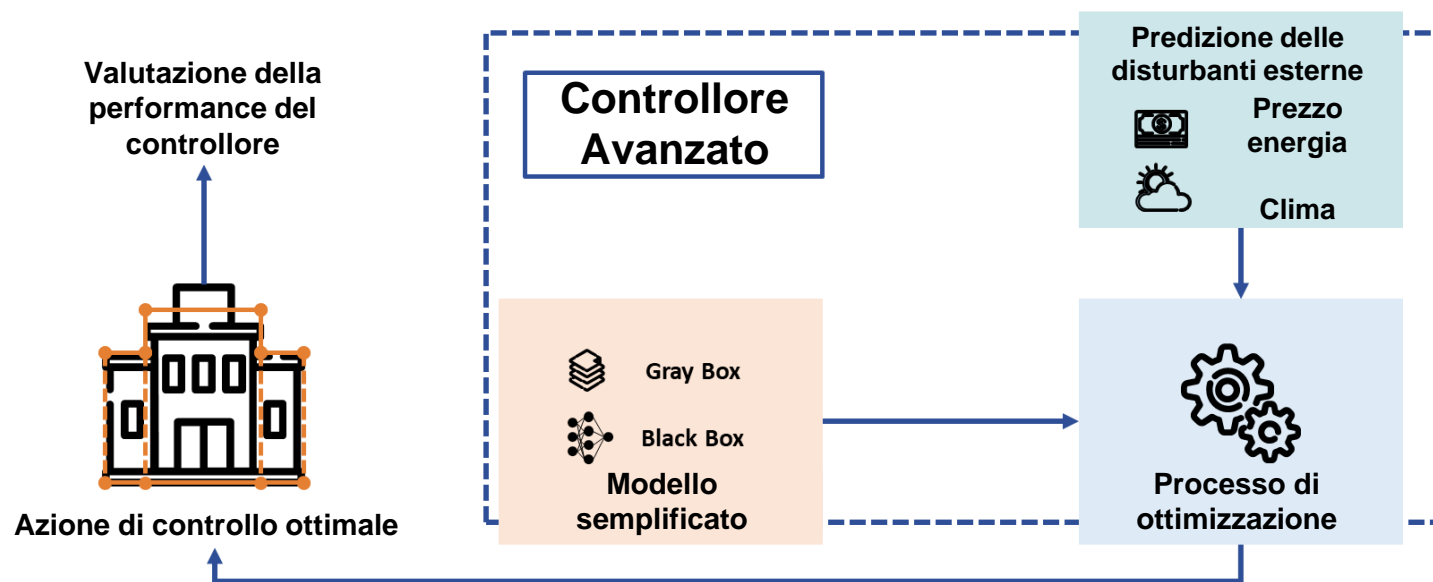
Le strategie di gestione della domanda sono fondamentali per un consumo energetico efficiente e per l'ottimizzazione della rete.

Questi approcci includono la risposta alla domanda per bilanciare l'offerta e la domanda spostando il consumo durante i momenti di picco e migliorando l'affidabilità della rete.



Fonte: Qurat-ul-Ain et al. (2019)

Un nuovo paradigma per il controllo avanzato dei sistemi energetici



Potenziale teorico e realistico di risparmio dei controllori avanzati rispetto a quelli tradizionali.

Fonte: Aste et al., 2016



Multi-obiettivo

Ottimizzare contemporaneamente più obiettivi (ad es. consumo energetico, costi operativi e comfort termico, picchi di domanda).



Flessibile

Essere flessibili rispetto alle condizioni in evoluzione delle variabili forzanti, del comportamento degli occupanti e dei requisiti della rete.



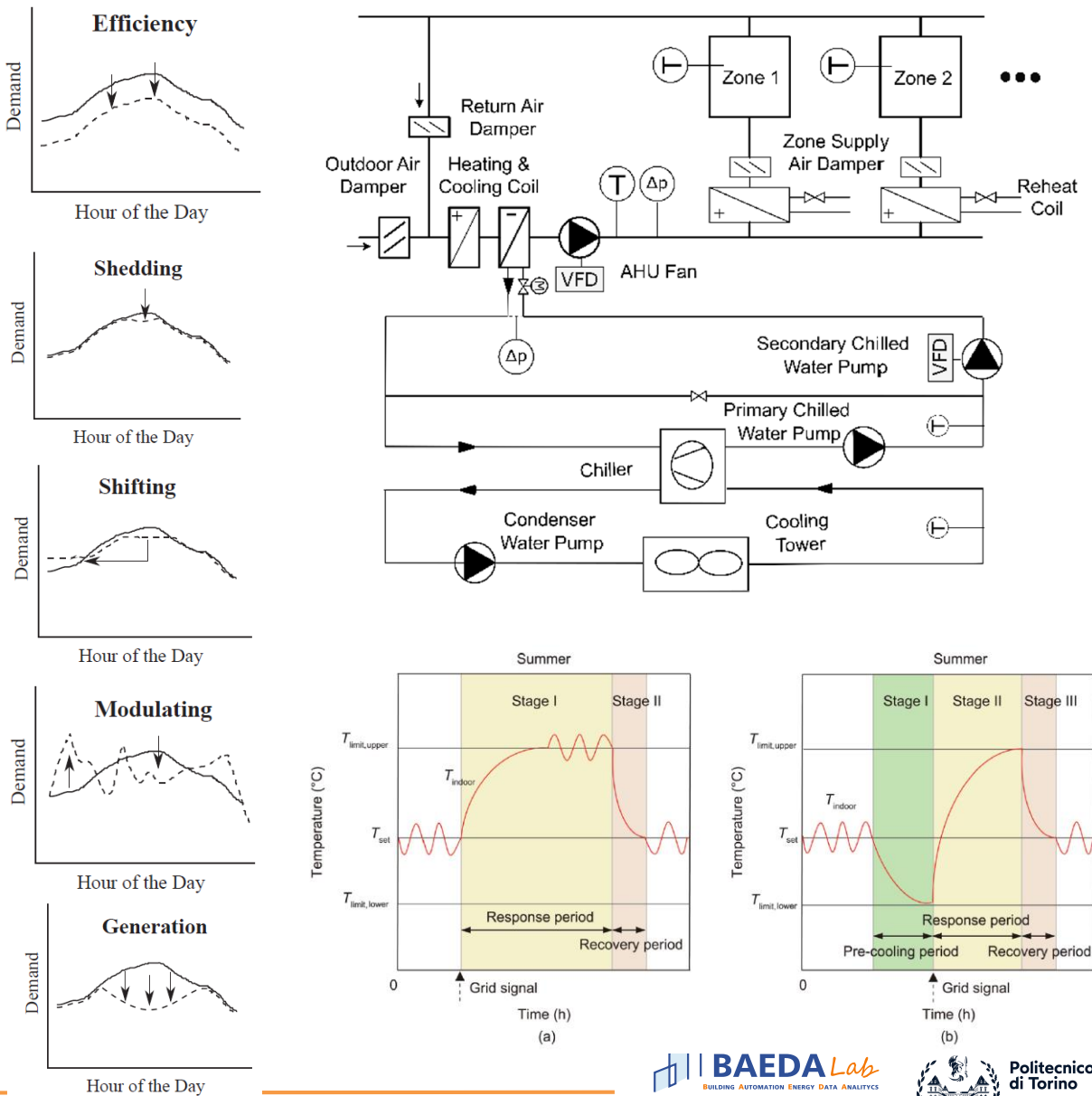
Predittivo

Sfruttare i modelli di previsione per prevedere l'evoluzione delle perturbanti e della dinamica del sistema, consentendo l'identificazione della politica di controllo ottimale.

Variabili di controllo

- Strategia 1 – Modifica del setpoint di temperatura di zona
- Strategia 2 – Regolazione della velocità di attuatori a giri variabili
- Strategia 3 – Modulazione della potenza impegnata dai sistemi di generazione
- Strategia 4 – Setpoint di temperatura del fluido in uscita da pompa di calore/chiller
- Strategia 5 – Regolazione del setpoint di pressione
- Strategia 6 – Regolazione del setpoint di pressione
- Strategia 7 – Controllo della Potenza di carica *dell'accumulo* elettrico
- Strategia 8 – Regolazione della temperature di mandata *dell'aria*
- Strategia 9 – Gestione della domanda di potenza
- Strategia 10 – Regolazione della carica di storage termico
- Strategia 11 – Posizione delle valvole/serrande in unità di trattamento *d'aria*
- Strategia 12 – Controllo di proprietà ottiche e termiche

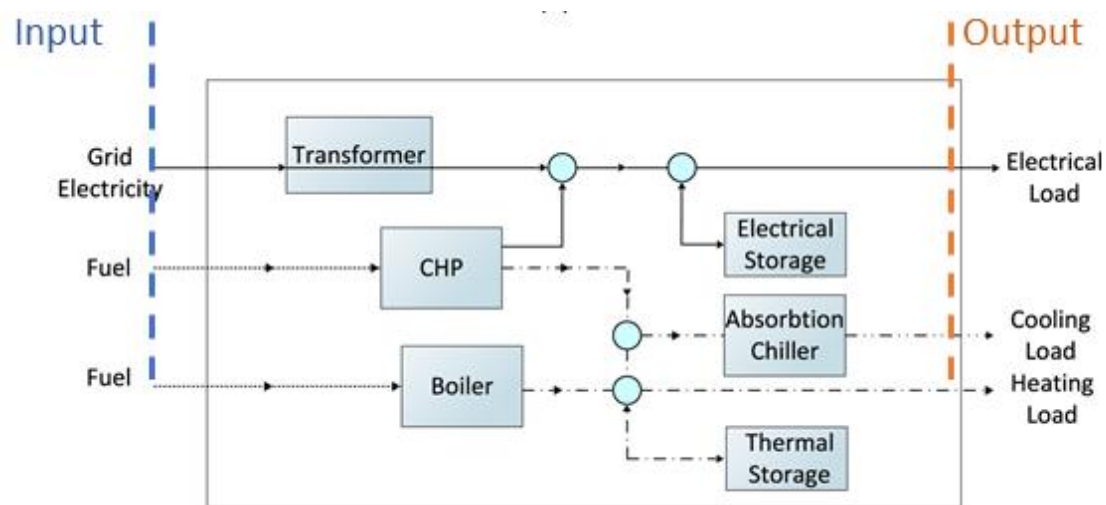
Fonte: Y. Fu et al., Applied Energy 307 (2022) 118133



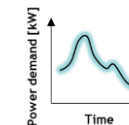
Quando conviene utilizzare una strategia di controllo avanzata?

Un sistema integrato è potenzialmente caratterizzato da:

- **Presenza di sistemi plurivalenti e multienergetici**
- Presenza di diverse tecnologie di accumulo.
- **Molteplici obiettivi di controllo contrastanti.**



Obiettivi



Edificio



Generazione



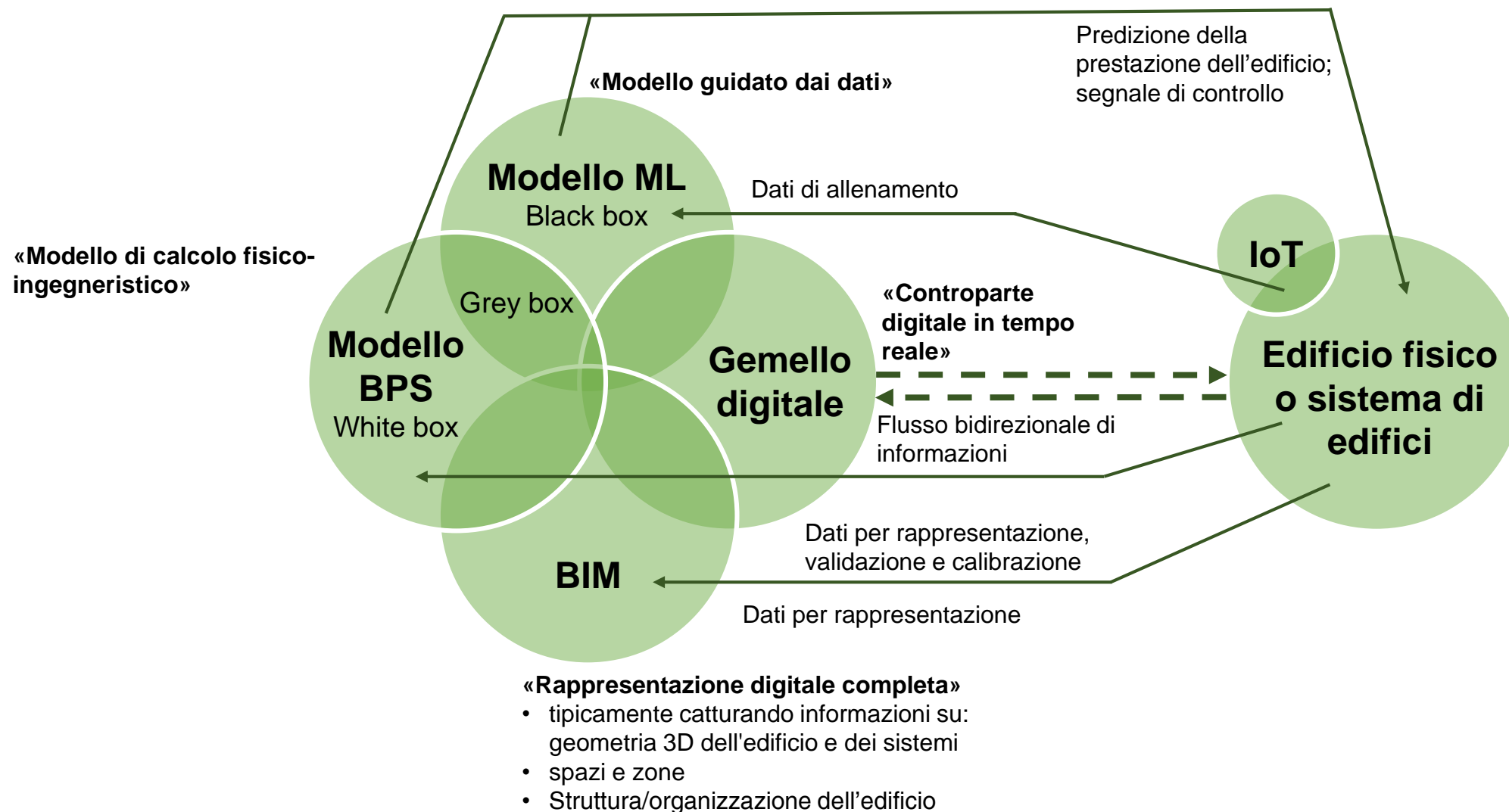
Accumulo

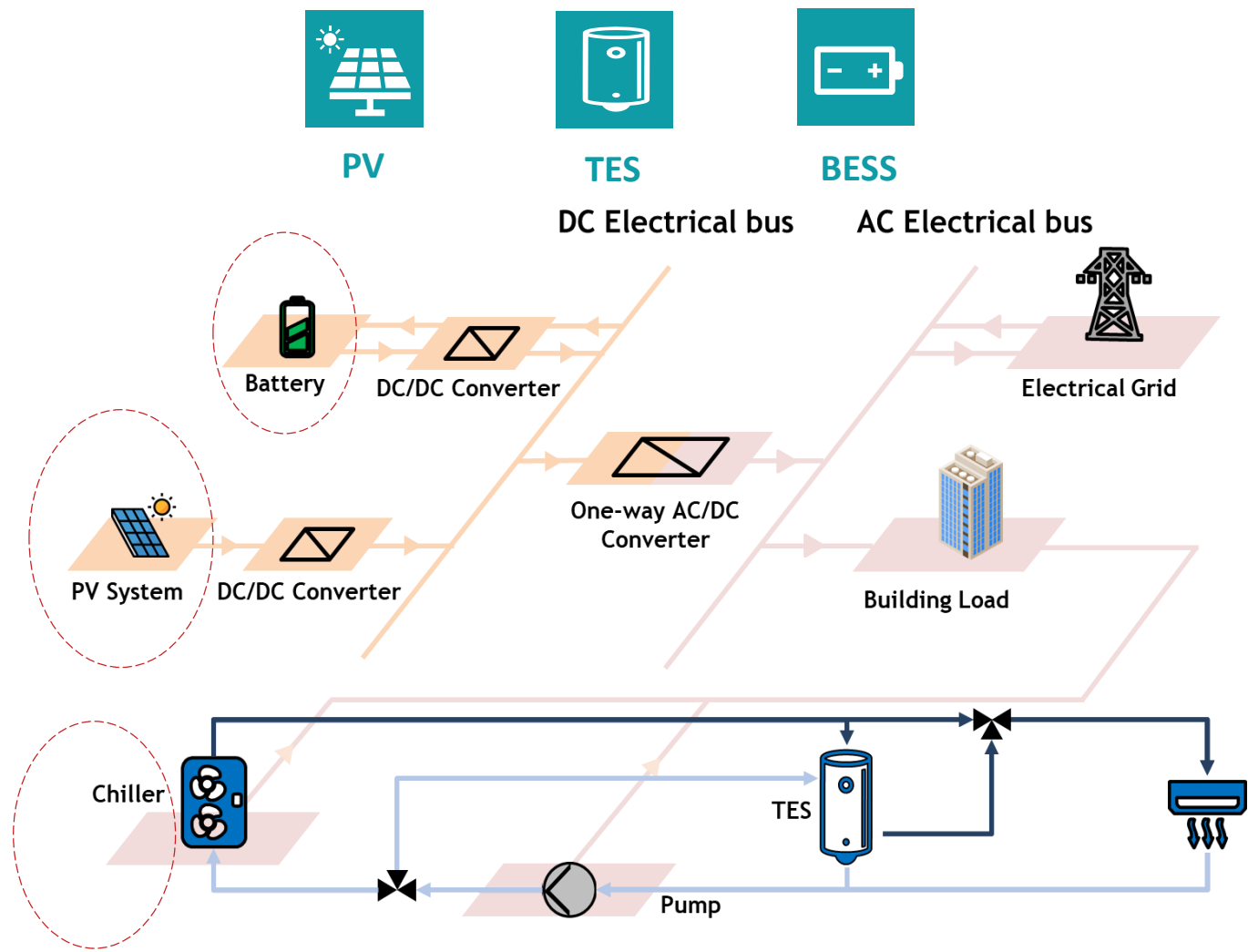


Rinnovabili



IA per affrontare la complessità e le opportunità della digitalizzazione





Obiettivo di controllo

Riduzione dei costi di energia elettrica legati al funzionamento del chiller e della pompa

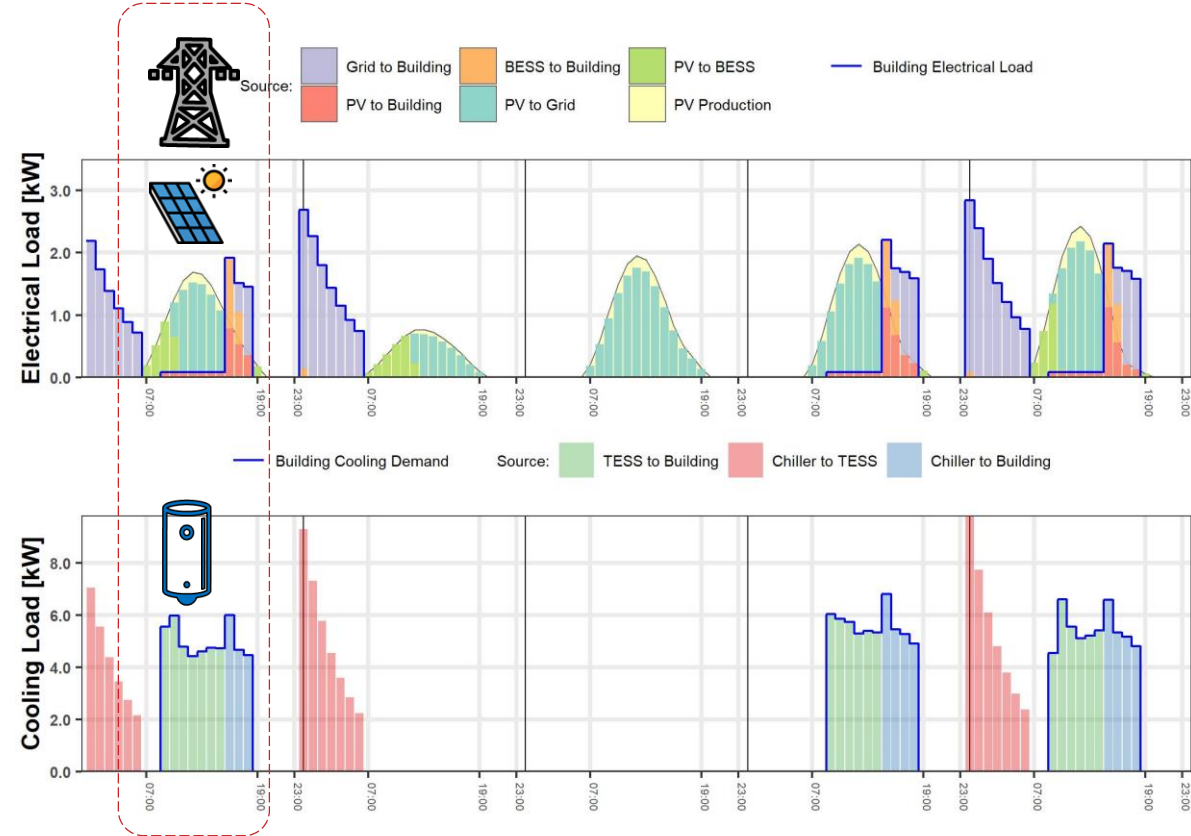
Disturbanti esterne

Prezzi variabili dell'energia elettrica e condizioni meteorologiche

Il controllore può condurre ad una **riduzione dei costi operativi** (tra il 39,5% e l'84,3%) e migliorare lo sfruttamento dell'energia prodotta da PV rispetto a strategie tradizionali (**aumento medio degli indici di autosufficienza e autoconsumo del 40%**) anche quando il sistema implementa piccole capacità di accumulo.

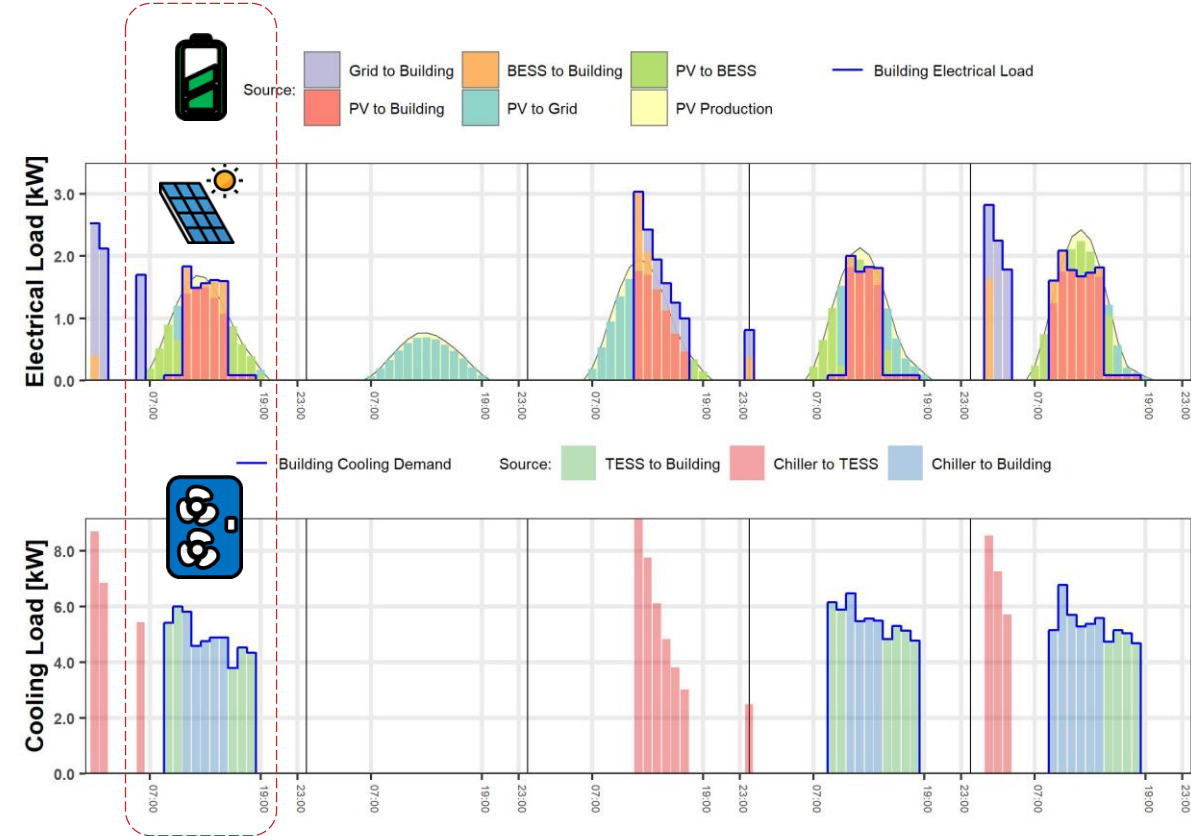
Fonte: Brandi, S., Gallo, A., & Capozzoli, A. (2022) Energy Reports, 8, 1550-1567.

Controllo Tradizionale

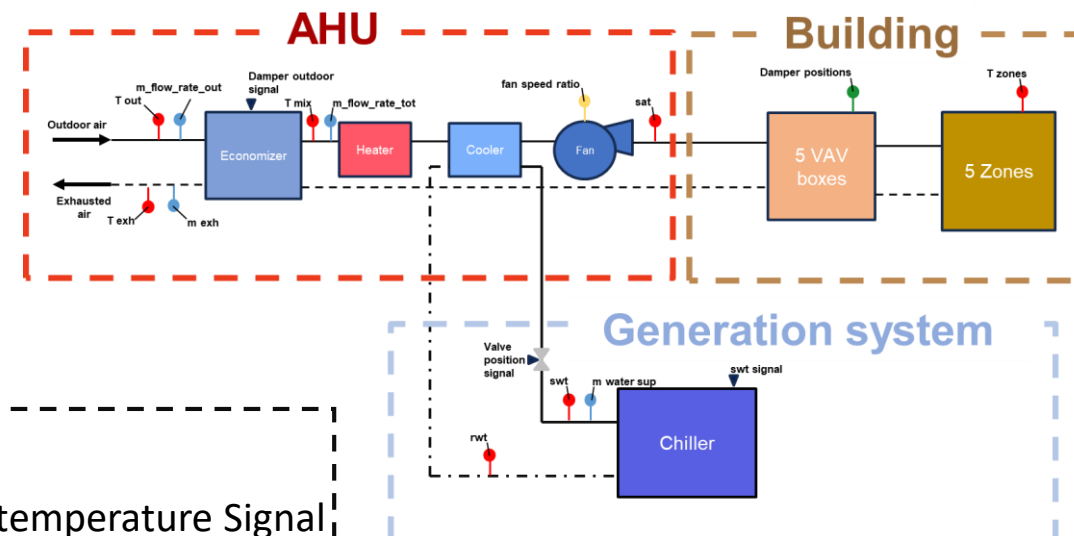
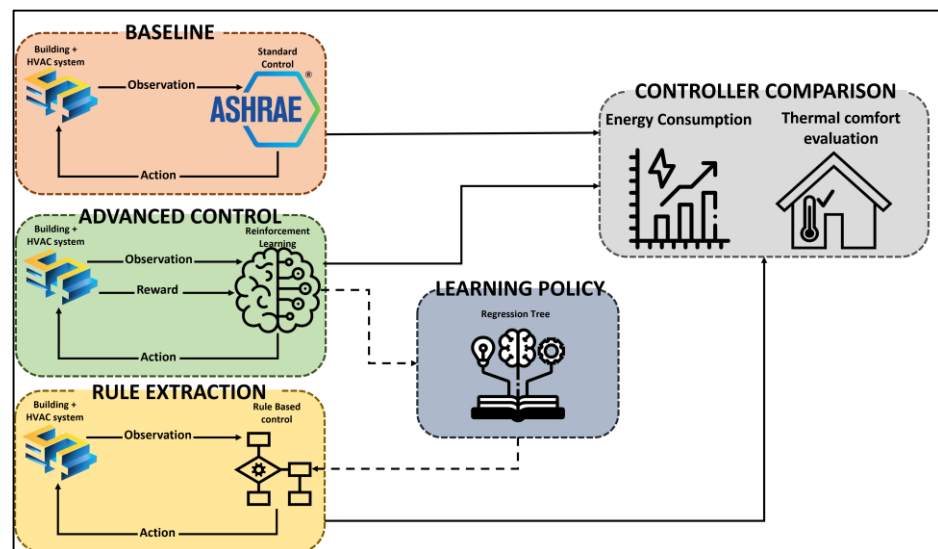


Utilizza l'energia nel TES durante il giorno per soddisfare la domanda dell'edificio. Il surplus da PV viene venduto in rete.

Controllo Predittivo

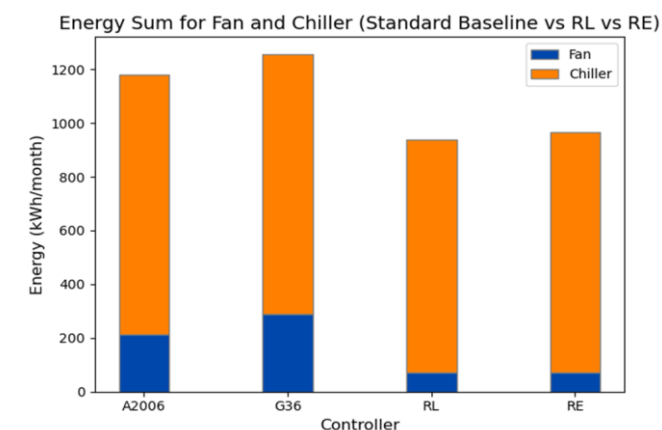
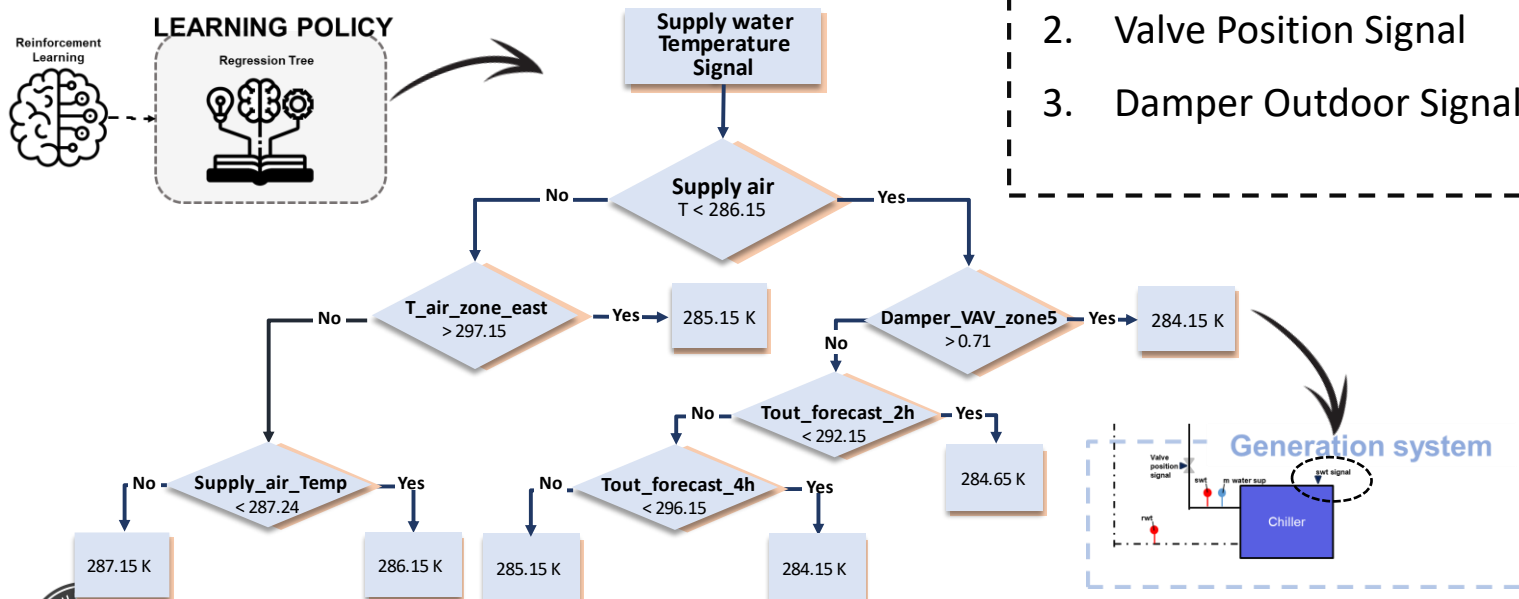


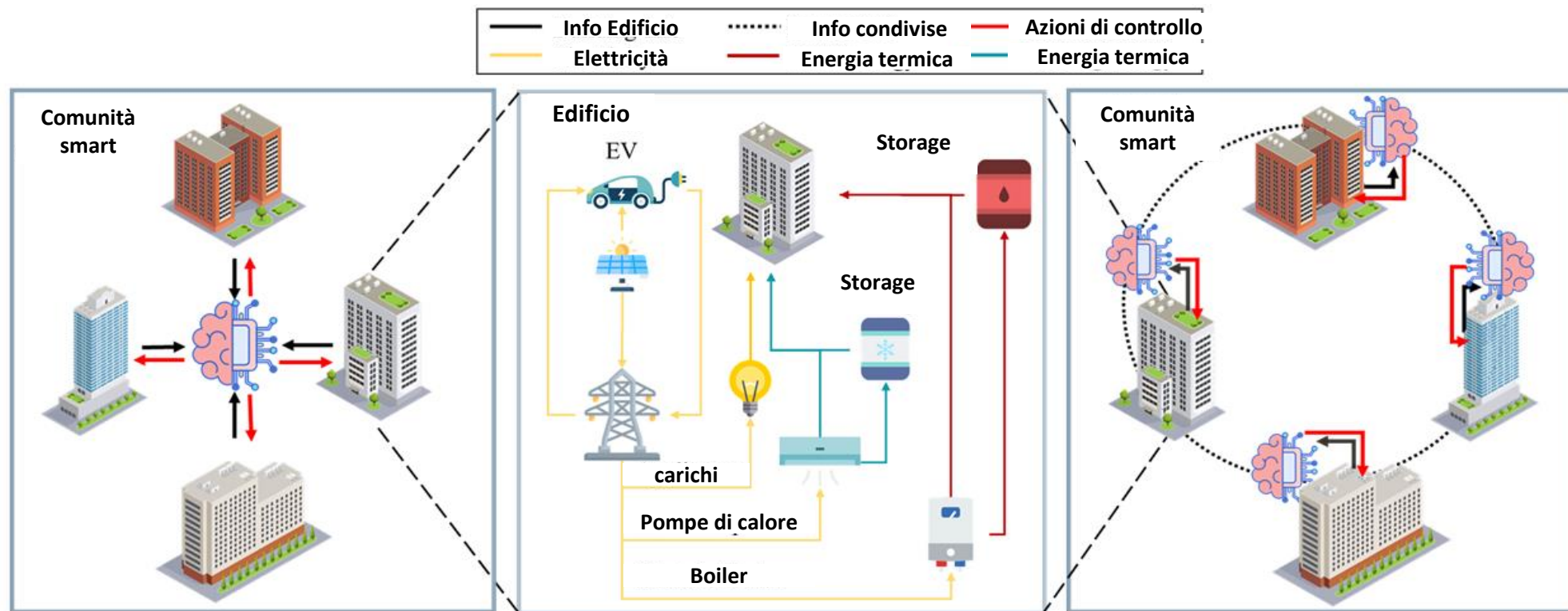
Utilizza il chiller (quando il prezzo è alto) per massimizzare l'autoconsumo e sfrutta BESS quando PV non è sufficiente.



Action:

1. Supply Water temperature Signal
2. Valve Position Signal
3. Damper Outdoor Signal





➤ Lo schema **centralizzato** viene principalmente utilizzato per ottenere il coordinamento fornendo al controllore una conoscenza completa di quello che avviene all'interno del sistema

➤ Lo schema **decentralizzato** viene utilizzato per affidare la soluzione di problema complesso a vari agenti. La conoscenza incompleta del comportamento dei vari agenti può portare a soluzioni non ottimali

Lo Smart Readiness Indicator (SRI)

- L'SRI misura la capacità di un edificio di utilizzare tecnologie per la Comunicazione e l'Informazione (ICTs) al fine di **adattare la fase operativa** degli edifici **alle esigenze degli occupanti e alla rete**, migliorandone l'efficienza energetica.
- È un indicatore per la valutazione della **predisposizione all'intelligenza** degli edifici a livello Europeo.
- Si basa sui **tre punti fondamentali** espressi nell'EPBD:
 1. Capacità di adattare il funzionamento in risposta alle **esigenze dell'occupante**;
 2. Capacità di **mantenere l'efficienza energetica** e il funzionamento adattando il consumo energetico;
 3. **Flessibilità** della domanda complessiva di energia elettrica in relazione alla rete.
- Tra le finalità dell'SRI spicca il voler aumentare la **consapevolezza** e l'**adozione** di **Tecnologie Intelligenti** per il raggiungimento degli obiettivi del 2030 e 2050.



BENEFICI ATTESI

-  Uso dell'energia ottimizzato in funzione della produzione in loco di energia rinnovabile
-  Ottimizzazione nella gestione dell'accumulo dell'energia prodotta in loco da fonti rinnovabili
-  Rilevamento e diagnosi automatica dei guasti e manutenzione predittiva
-  Miglioramento della qualità dell'ambiente interno grazie a processi di controllo ottimizzati



Energia finale



mln ton CO2/anno



TWh/anno - energia primaria



mld €/anno – costi energetici e benessere

<https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-03/SRI-Factsheet-20220313.pdf>

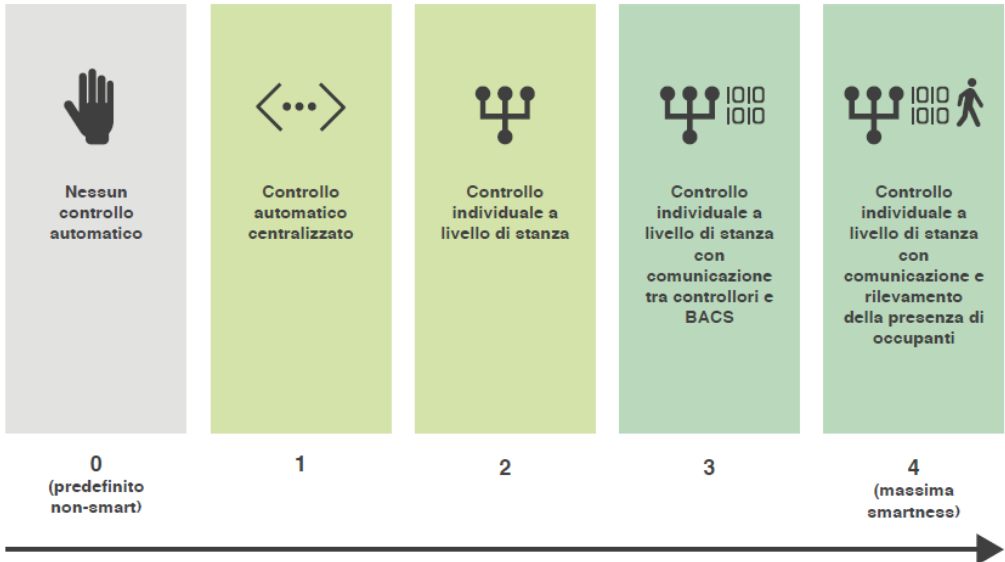
Come si struttura l'SRI?

- La struttura di tipo gerarchico dell'SRI si divide in tre livelli principali: **funzionalità chiave**, **criteri di impatto** e **domini**
- Le **3 funzionalità chiave** sono rappresentate direttamente dai punti fondamentali dell'EPBD.
- Per ogni funzionalità chiave sono definiti i corrispondenti **criteri di impatto**, per un totale di **7**.
- Per ognuno dei criteri di impatto sono definiti **9 domini** tecnici.



Processo di Triage

- Si valuta il **livello di funzionalità** di ogni **servizio** implementato nell'edificio e i relativi **punteggi pre-calcolati** per ogni criterio di impatto su cui quel servizio ha effetto.
- I **punteggi** ottenuti per tutti i **servizi associati a ogni dominio** vengono sommati per ottenere un **unico valore** per ogni criterio di impatto, formando una **matrice dei valori reali**
- La stessa procedura viene applicata andando a considerare il **livello di funzionalità più elevato** per ognuno dei servizi precedentemente considerati, ottenendo la **matrice dei punteggi massimi**.



LIVELLO DI FUNZIONALITÀ

	Efficienza energetica	Manutenzione e previsione guasti	Comfort	Facilità d'uso	Salute e Benessere	Informazioni agli occupanti	Flessibilità energetica e accumulo
Servizio A							
Livello 0	0	1				0	0
Livello 1	1	2				1	1
Livello 2	2	3	2	1	0	2	2
Livello 3	3	3				3	3

Figura 10 - Esempio di punteggio individuale assegnato ai diversi livelli di funzionalità in funzione dei diversi criteri di impatto. Adattato da [58].

Servizi	Livelli di funzionalità				
	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Thermal Energy Storage (TES) for building heating (excluding TABS)	Continuous storage operation	Time-scheduled storage operation	Load prediction based storage operation	Heat storage capable of flexible control through grid signals (e.g. DSM)	–
Report information regarding HEATING system performance	None	Central or remote reporting of current performance KPIs (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Central or remote reporting of current performance KPIs and historical data	Central or remote reporting of performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Central or remote reporting of performance evaluation including forecasting and/or benchmarking; also including predictive management and fault detection
Flexibility and grid interaction	No automatic control	Scheduled operation of heating system	Self-learning optimal control of heating system	Heating system capable of flexible control through grid signals (e.g. DSM)	Optimized control of heating system based on local predictions and grid signals (e.g. through model predictive control)

Servizi	Livelli di funzionalità				
	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Optimizing self-consumption of locally generated electricity	None	Scheduling electricity consumption (plug loads, white goods, etc.)	Automated management of local electricity consumption based on current renewable energy availability	Automated management of local electricity consumption based on current and predicted energy needs and renewable energy availability	-
Storage of (locally generated) electricity	None	On site storage of electricity (e.g. electric battery)	On site storage of energy (e.g. electric battery or thermal storage) with controller based on grid signals	On site storage of energy (e.g. electric battery or thermal storage) with controller optimising the use of locally generated electricity	On site storage of energy (e.g. electric battery or thermal storage) with controller optimising the use of locally generated electricity and possibility to feed back into the grid
Support of (micro)grid operation modes	None	Automated management of (building-level) electricity	Automated management of (building-level) electricity consumption and electricity supply to neighbouring buildings (microgrid) or grid	Automated management of (building-level) electricity consumption and supply, with potential to continue limited off-grid operation (island mode)	-

Servizi	Livelli di funzionalità				
	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Run time management of HVAC systems	Manual setting	Runtime setting of heating and cooling plants following a predefined time schedule	Heating and cooling plant on/off control based on building loads	Heating and cooling plant on/off control based on predictive control or grid signals	-
Detecting faults of technical building systems and providing support to the diagnosis of these faults	No central indication of detected faults and alarms	With central indication of detected faults and alarms for at least 2 relevant TBS	With central indication of detected faults and alarms for all relevant TBS	With central indication of detected faults and alarms for all relevant TBS, including diagnosing functions	-
Central reporting of TBS performance and energy use	None	Central or remote reporting of realtime energy use per energy carrier	Central or remote reporting of realtime energy use per energy carrier, combining TBS of at least 2 domains in one interface	Central or remote reporting of realtime energy use per energy carrier, combining TBS of all main domains in one interface	-
Smart Grid Integration	None - building is operated independently from the grid load	DSM possible for (some) individual TBS, but not coordinated over various domains	Coordinated demand side management of multiple TBS	-	-



<https://www.cognitoforms.com/GBCItalia1/DownloadSmartBuildingLaDigitalizzazionePerIlNetZero>

Pre-processamento dei dati: la "spada di Damocle" che pende sugli analisti dei dati

Il volume dei dati non vale nulla se non è supportato da dati di alta qualità. E' necessario ripensare alla centralità della progettazione delle infrastrutture di monitoraggio

Nelle mani sbagliate, tutti gli strumenti sono armi": analisi dei dati e problemi di privacy

I processi di analisi dei dati devono sempre tenere conto dei potenziali problemi di privacy, compromesso tra la quantità di conoscenza estratta e la protezione delle informazioni sensibili.

Avere competenze nell'analisi dei dati non è sufficiente

Urge la formazione di nuove figure professionali per affrontare le opportunità della digitalizzazione e transizione energetica

"By far, the greatest danger of Artificial Intelligence is that people conclude too early that they understand it"

(Eliezer Youdkowsky)

"Il tutto è maggiore della somma delle sue parti": l'integrazione degli strumenti EMIS è sempre possibile?

La prossima generazione di sistemi di gestione e automazione degli edifici dovrebbe essere concepita, per massimizzare l'insieme di funzionalità che oggi l'IA può offrire

"In theory, there is no difference between theory and practice....but, in practice, there is" (Jan L. A. van de Snepscheut)

La digitalizzazione ci offre grandi opportunità ma esistono ancora barriere culturali (..e non tecnologiche) da superare

SRI: un' opportunità per accelerare l'implementazione di gestione energetica predittiva

Per raggiungere alti valori di SRI, è necessario fornire servizi alla rete e aumentare la flessibilità energetica. I controllori avanzati sono una necessità e non più solo un'opportunità



ASSOCIAZIONE ITALIANA
BUILDING AUTOMATION
AND CONTROL SYSTEMS

GRAZIE!

alfonso.capozzoli@polito.it



linkedin.com/in/alfonso-capozzoli-7a27504b/

