



## Ricerca di Sistema elettrico

# Analisi di funzionamento di una microgrid energetica basata su produzione di energia elettrica fotovoltaica a servizio di ambiente costruito e mobilità elettrica

S. Agostinelli, F. Cumo, E. Pennacchia, M. Sforzini, C. Tomazzoli

## ANALISI DI FUNZIONAMENTO DI UNA MICROGRID ENERGETICA BASATA SU PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA FOTOVOLTAICA A SERVIZIO DI AMBIENTE COSTRUITO E MOBILITA' ELETTRICA

S. Agostinelli, F. Cumo, E. Pennacchia, M. Sforzini, C. Tomazzoli

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: 1.7 - Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: 1 - Local Energy District

Linea di attività: *LA 1.74 - Energy Communities: Microgrid basata su produzione di energia fotovoltaica finalizzata alla gestione ottimizzata dei consumi mediante algoritmi di I.A*

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Realizzazione di un dimostratore di una microgrid, gestita da un sistema di machine learning appositamente creato in seguito alla realizzazione delle infrastrutture nell'ambito delle attività di greening"*

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Giambattista Guidi

Responsabile scientifico CITERA, Università di Roma La Sapienza: Prof. Fabrizio Cumo

## Indice

SOMMARIO .....	5
1 INTRODUZIONE .....	6
2 DIGITAL TWIN INTEGRATO CON I SISTEMI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE .....	7
2.1 INTERNET OF THINGS .....	7
2.2 SMART LAB E AMBIENT INTELLIGENCE .....	7
2.3 DIGITAL TWIN E INTELLIGENZA ARTIFICIALE .....	9
3 RETI INTELLIGENTI PER LA GESTIONE EFFICIENTE DELL'ENERGIA ELETTRICA .....	12
3.1 IL METODO .....	12
3.2 RAGGRUPPAMENTO DI INSTALLAZIONI SIMILI .....	12
3.3 SELEZIONE DELL'INSTALLAZIONE MIGLIORE .....	12
3.4 ESTRAZIONE DELLE REGOLE DI COMPORTAMENTO .....	13
3.5 RICONOSCIMENTO AUTOMATICO DEGLI APPARATI .....	13
3.6 PIANO OPERATIVO .....	14
4 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	14
4.1 CENNI STORICI .....	14
4.2 IL CASO DI STUDIO: SMART GRID ENERGETICA A SERVIZIO DI UNO SMART LAB .....	15
4.3 LA CONFIGURAZIONE DELLO SMARTLAB .....	17
4.4 LAYOUT DELLO SMARTLAB E CONTEXT AWARENESS .....	19
4.5 SELEZIONE DEI DISPOSITIVI .....	21
5 PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO SMARTLAB BASATO SU RETI NEURALI ARTIFICIALI .....	24
5.1 SMART LAB .....	24
5.2 AREA MANAGEMENT SYSTEMS .....	24
5.3 ARTIFICIAL NEURAL NETWORK .....	25
5.4 SENSORISTICA UTILIZZATA .....	25
5.5 POSIZIONAMENTO DEI DISPOSITIVI ALL'INTERNO E ALL' ESTERNO DEGLI AMBIENTI .....	28
6 COMPONENTI E PRESTAZIONI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO E SISTEMA DI RICARICA ELETTRICA DEI VEICOLI .....	30
6.1 CONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE (SCAMBIO SUL POSTO) .....	30
6.2 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA UTILIZZATA (PANASONIC HIT DA 330 Wp) .....	31
6.3 DESCRIZIONE DELL'INVERTER TRIFASE .....	32
6.4 DESCRIZIONE SISTEMA DI ACCUMULO .....	33
6.5 FOTO E VIDEO RIPRESE AEREE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI E COLONNINA DI RICARICA .....	34
7 CONCLUSIONI .....	39
8 ALLEGATI E ANALISI DI DETTAGLIO .....	40
8.1 ALLEGATO 1 – IMPIANTO FOTOVOLTAICO .....	40
8.1.1 <i>Impianto fotovoltaico connesso alla rete elettrica di distribuzione potenza 6.600 kW</i> .....	40
8.1.2 <i>Attenzione per l'ambiente</i> .....	40
8.1.3 <i>Risparmio sul combustibile</i> .....	40
8.1.4 <i>Emissione evitate in atmosfera</i> .....	40
8.1.5 <i>Sito di installazione</i> .....	40
8.1.5.1 <i>Disponibilità della fonte solare</i> .....	41
8.1.5.2 <i>Irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale</i> .....	41
8.1.5.3 <i>Ombreggiamento</i> .....	41
8.1.5.4 <i>Riflettanza</i> .....	42

8.1.6	<i>Procedure di calcolo</i> .....	42
8.1.6.1	Criterio generale di progetto .....	42
8.1.6.2	Criterio di stima dell'energia prodotta.....	42
8.1.6.3	Criterio di verifica elettrica.....	43
8.1.6.4	Tensioni MPPT.....	43
8.1.7	<i>Dimensionamento dell'impianto</i> .....	43
8.1.7.1	Scheda tecnica dell'impianto.....	43
8.1.7.2	Energia prodotta.....	44
8.1.7.3	Consumo.....	44
8.1.8	<i>Generatore fotovoltaico</i> .....	45
8.1.8.1	Verifiche elettriche MPPT1.....	45
8.1.8.2	Verifiche elettriche MPPT2.....	46
8.1.8.3	Sistema di accumulo .....	46
8.1.8.4	Campo fotovoltaico .....	47
8.1.8.5	Scheda tecnica dell'impianto.....	47
8.1.9	<i>Schema elettrico</i> .....	47
8.1.9.1	Cavi.....	47
8.1.9.2	Quadri.....	47
8.1.9.3	Schema unifilare .....	49
8.1.10	<i>Dati acquisto energia</i> .....	49
8.1.10.1	Tariffa acquisto energia BTB1 – Trioraria / Marzo 2020.....	49
8.1.11	<i>Dati cessione energetica elettrica</i> .....	52
8.1.11.1	Prezzi zonal GSE 2019 .....	52
8.1.12	<i>Dati SEU</i> .....	52
8.1.13	<i>Analisi dei costi</i> .....	52
8.1.13.1	Costo di realizzazione impianto.....	52
8.1.13.2	Costi periodici e una tantum .....	53
8.1.14	<i>Analisi Economica</i> .....	54
8.1.14.1	Tabella budget annuale sintetica e completa.....	54
8.1.15	<i>Indicatori sintetici</i> .....	58
8.1.15.1	Grafico entrate e uscite.....	60
8.1.15.2	Grafico entrate e uscite.....	60
8.2	ALLEGATO 2 – SCHEDA TECNICA DEI COMPONENTI .....	61
8.2.1	<i>Pannello fotovoltaico</i> .....	61
8.2.2	<i>Inverter</i> .....	62
8.2.3	<i>Sistema di accumulo</i> .....	63
9	NORMATIVA.....	64
10	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	71
11	DEFINIZIONI.....	71
12	CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO: CITERA.....	77

## Sommario

Nella presente relazione è riportata la descrizione dello sviluppo progettuale, proposto dal Centro di Ricerca Interdipartimentale Territorio, Edilizia, Restauro, Ambiente (CITERA) dell'Università La Sapienza di Roma in collaborazione con ENEA, riguardante la messa a punto di un sistema di controllo e gestione di una microgrid locale presso la Facoltà di Architettura. Il progetto consiste nella configurazione di un ambiente-dimostratore sperimentale (Smart LAB) dotato di un sistema di produzione di energia fotovoltaica ed una colonnina di ricarica elettrica per veicoli, basato su tecniche di autoapprendimento intelligente (AI).

L'Agenzia internazionale dell'energia (AIE) prevede la progressiva centralità dell'intelligenza artificiale in campo energetico, trasformando i sistemi energetici globali e rendendoli maggiormente interconnessi, affidabili e sostenibili. In termini economici si stima che entro il 2040 ci saranno un miliardo di "Smart Home" e 11 miliardi di apparecchiature intelligenti nel mondo, l'ottimizzazione dei quali consentirebbe una riduzione di più del 10% del consumo di energia sfruttando l'intelligenza artificiale. Un ulteriore risparmio deriverà dalla connessione del sistema con quello di produzione di energia fotovoltaica, supportando l'utente e/o il gestore ad effettuare le scelte di energy management più convenienti.

Le microgrid permettono di acquisire dai sistemi Internet of Things (IoT), con i relativi sensori, una grande quantità di dati che verranno quindi elaborati e tradotti in soluzioni efficienti dagli algoritmi di autoapprendimento.

Per quanto riguarda la produzione di energia da fonti rinnovabili, è risaputo che l'incertezza sulle condizioni meteorologiche crea una notevole criticità. I sistemi AI sono in grado di ottimizzare la produzione, la trasmissione e lo stoccaggio di energia prodotta da impianti fotovoltaici.

Quindi, lo studio di un sistema di machine learning applicato a una microgrid locale potrà avere ricadute dirette e immediate sugli utenti. Infatti, il software di intelligenza artificiale a livello domestico, registra e interpreta i bisogni energetici della singola utenza e interviene attivamente ed elimina tutti i consumi non necessari.

L'obiettivo è la configurazione di un sistema in grado di prevedere la produzione di energia fotovoltaica con 24 ore di anticipo, costruendo dei modelli di rete neurale in grado di stimare il consumo di energia ed ottimizzare i cicli di ricarica dei sistemi di accumulo.

Il risultato atteso è la realizzazione di una smart grid energetica, in piccola scala, completamente gestita da una rete neurale basata su previsioni meteorologiche integrate con dati storici sui consumi e provenienti dalla rete satellitare "Copernicus for Earth observation", essendo il Centro CITERA membro della Copernicus Academy.

## 1 Introduzione

L'attività di ricerca svolta da CITERA è finalizzata alla realizzazione di una microgrid, che gestisca in maniera ottimale la produzione ed il consumo dell'energia elettrica appositamente creato in seguito alla realizzazione delle infrastrutture nell'ambito delle attività di "greening" della sede della Facoltà di Architettura Valle Giulia, promossa in occasione del centenario della Facoltà.

L'obiettivo di questo progetto è la definizione e realizzazione di un sistema di machine learning per il controllo della rete elettrica locale con produzione di energia da fonte rinnovabile.

Il progetto prevede la esplorazione di alcune tecniche di Intelligenza Artificiale e di machine learning che possono essere applicate a sistemi di gestione dell'energia in modo da spingerli nella direzione dell'autonomia nel processo decisionale. In particolare, si punta a definire tecniche automatiche sia per l'estrazione di regole di comportamento ottimale, ottenute dai dati di consumo energetico, sia per la classificazione dei dispositivi elettrici.

Lo studio di un sistema di machine learning applicato a una microgrid locale potrà avere ricadute dirette e immediate sugli utenti; infatti, il software di intelligenza artificiale a livello domotico, registra e interpreta i bisogni energetici della singola utenza e quindi interviene attivamente ed elimina tutti i consumi non necessari.

L'intelligenza artificiale (AI) può monitorare più impianti fotovoltaici in rete, integrando dati relativi alla generazione di energia, alle esigenze di manutenzione e all'efficienza della generazione di energia.

A livello di controllo e gestione dei sistemi di produzione di energia fotovoltaica le tecniche di intelligenza artificiale (AI) possono essere applicate a tre aree principali: (1) Previsione e modellizzazione dei dati meteorologici, (2) modellazione di base di celle solari e (3) dimensionamento di impianti fotovoltaici.

Quindi, attraverso un'analisi AI in tempo reale, il sistema può avvisare gli utenti di potenziali malfunzionamenti della centrale elettrica, prevedere la generazione di energia e fornire un database completo per la gestione ottimizzata dei sistemi fotovoltaici. Se, ad esempio, le riserve di energia solare stanno per esaurirsi, il sistema può spegnere automaticamente un televisore o abbassare le luci a casa o persino ridurre il volume dello stereo o l'intensità di una ventola.

Tale sistema connesso con quello di produzione di energia fotovoltaica, anch'esso dimensionato alla scala del singolo edificio, può stimare costi e consumi supportando l'utente e/o il gestore di una microgrid locale ad effettuare le scelte più sostenibili.

L'articolazione dell'attività è prevista in tre distinte fasi realizzative:

1. Costruzione del sistema informativo digitale in metodologia Building Information Modeling (BIM); Progettazione e realizzazione di un impianto fotovoltaico per produzione di energia elettrica con sistema di Energy Storage; Progettazione e realizzazione di sistema di ricarica per la mobilità elettrica;
2. Progettazione e realizzazione di un sistema domotico a servizio di uno Smart Lab per la gestione integrata degli impianti e delle apparecchiature;
3. Progettazione e realizzazione di un sistema di machine learning che registri e interpreti i fabbisogni energetici del sistema Smart lab e ricarica dei veicoli e che preveda, con anticipo, la produzione effettiva del sistema FV per poi intervenire attivamente sull'utilizzo del sistema di accumulo e sull'eventuale rimodulazione dei consumi.

Il modello di verifica della correttezza e congruità della ricerca svolta si dovrà basare sull'analisi dei dati provenienti dai report dei software di monitoraggio dei consumi della micro-smart grid realizzata, comparati con i dati di produzione giornaliera del sistema fotovoltaico installato, valutando le performance del sistema di gestione tramite AI secondo i più recenti criteri di "energy efficiency" ed "energy management" degli edifici e delle microreti energetiche.

## 2 Digital Twin integrato con i Sistemi di Intelligenza Artificiale

### 2.1 *Internet of Things*

L'Internet of Things (IoT) rappresenta la tecnologia attualmente volta a configurare sempre più vere e proprie reti di "oggetti intelligenti" dotati di sensori (apparecchiature e dispositivi mobili) con lo scopo di migliorare la qualità della vita negli ambienti indoor. Per IoT si intende quel percorso nello sviluppo tecnologico in base al quale, attraverso la rete Internet, potenzialmente ogni oggetto dell'esperienza quotidiana acquista una sua identità nel mondo digitale. Come detto, l'IoT si basa sull'idea di oggetti "intelligenti" tra loro interconnessi in modo da scambiare le informazioni possedute, raccolte e/o elaborate. Lo sviluppo crescente di tali dispositivi costituisce oggi la base evolutiva delle cosiddette Smart Cities, attraverso l'impiego degli strumenti di Information Communication Technology (ICT), ed in particolare di sensori e attuatori, grazie a cui gli ambienti interni ed esterni acquisiscono vera e propria consapevolezza dei cambiamenti nelle abitudini degli utenti, così come delle condizioni dell'ambiente circostante.

I sensori a infrarossi passivi (PIR) sono un esempio di rilevatori di occupazione tramite sistemi di tracciamento umano, ampiamente utilizzati grazie al loro ridotto costo e consumo energetico, al fattore di forma e all'interazione con diversi dispositivi nel totale rispetto della privacy. Allo stesso modo, i sensori di umidità sono utilizzati per registrare e tracciare il livello di umidità negli ambienti, o lampade a LED controllate dalle condizioni di illuminazione riducono il consumo energetico, e così via.

Il programma H2020 ha stabilito sette sfide sociali per affrontare le principali preoccupazioni condivise dai cittadini in Europa e nel mondo. Tra queste rientrano Salute, cambiamento demografico e benessere, mirando a mantenere gli anziani attivi e indipendenti e sostenendo lo sviluppo di nuovi interventi innovativi che rientrino in questi ambiti, utili alla sperimentazione e alla dimostrazione di nuovi modelli e strumenti per la salute e l'erogazione delle cure. In questa ottica, le case e gli ambienti intelligenti rappresentano uno strumento chiave per la sperimentazione di tecnologie assistive per il sostegno alle persone con disabilità cognitive, l'indipendenza per chi soffre di una forma di disabilità, il supporto nella gestione e nell'erogazione di servizi sanitari ed il supporto nel monitoraggio e nell'esecuzione delle attività del quotidiano. Di conseguenza, le case e gli ambienti smart vengono promossi sempre più anche come soluzioni per sostenere l'offerta efficace ed efficiente di assistenza sanitaria alle persone anziane e disabili.

Al fine di arricchire le conoscenze ed aumentare le sinergie tra gruppi di ricerca interdisciplinari e realtà operanti nel settore, in collaborazione con ENEA (Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) il Centro di Ricerca CITERA ha promosso un'attività sperimentale volta alla progettazione di un sistema smart che trasformi il suo laboratorio in un vero e proprio SmartLab, connesso con una microgrid energetica e basato sull'Intelligenza Ambientale (Aml) integrata con algoritmi di Artificial Intelligence.

La proposta dello smart lab è focalizzata dunque sull'Aml, un paradigma nel quale gli utenti vivono circondati da una tecnologia informatica e telematica, ovvero da dispositivi con capacità computazionali e di connessione in rete, che si mettono a loro disposizione in modo non invadente. L'obiettivo della creazione del laboratorio è quello di configurare dunque un vero e proprio ambiente "sensibile", adattabile e rispondente ai bisogni, alle abitudini, ai gesti e alle emozioni dell'uomo.

### 2.2 *Smart Lab e Ambient Intelligence*

L'Intelligenza Ambientale (Aml) consiste nell'utilizzo degli input provenienti da sistemi di sensori distribuiti in un ambiente per consentire ai dispositivi informatici di adattare il loro comportamento in base agli utenti, o di interagire con l'ambiente circostante. Nel 1999, l'Information Society Technologies Program Advisory Group (ISTAG) dell'Unione Europea ha usato il termine Aml per descrivere e prevedere il modo in cui le persone saranno circondate da interfacce intelligenti e intuitive incorporate negli oggetti di uso quotidiano e da un ambiente che riconosce e risponde alle esigenze individuali.



Il paradigma dell'*Aml computing* si basa sul *pervasive* e sull'*ubiquitous computing*, ovvero sull'incorporare microprocessori in oggetti di uso quotidiano, consentendo loro di comunicare informazioni, delineando livelli di interazione tra uomo e macchina.

Il concetto di Aml è sempre più utilizzato inoltre come prototipo di ambiente intelligente per sostenere le persone con disabilità o gli anziani. Tecnologie, applicazioni e opportunità di utilizzo di Aml si possono trovare nell'esperienza di Augusto e Cook et al. (2009) e Restrepo et al. (2014) nella configurazione di un'architettura smart per il design di uno smart lab universitario, che offra agli utenti una serie di servizi adattivi tramite dispositivi intelligenti e reti di sensori wireless.

I sistemi di *home assisted living* rappresentano un esempio di un Aml utilizzato per monitorare le attività umane, offrendo interazioni che spaziano dall'accensione di un sistema di climatizzazione, la riproduzione musicale o la regolazione dell'illuminazione, così come per l'assistenza attiva agli anziani in caso di emergenza.

La Gator Tech Smart House dell'Università della Florida è stata costruita come un vero e proprio ambiente assistito in grado di percepire se stesso interagendo con i suoi residenti. Youngblood et al. (2004) hanno sviluppato un sistema chiamato *MavHome* che prevede la costruzione di un sistema intelligente che massimizza il comfort degli abitanti, implementando un sistema domotico che utilizza telecamere, dispositivi per la gestualità, touch screen e hardware di controllo. I computer fisici ospitano un'interfaccia che collega l'hardware con i servizi software tramite prese e memoria condivisa, e *MavHome* è in grado di massimizzare il comfort degli abitanti automatizzando le interazioni mediante sensori.

L'obiettivo della ricerca è dunque quello di implementare un sistema integrato di Intelligence Ambientale a costi ridotti (IAmIS) per il laboratorio CITERA, configurando un ambiente intelligente e interattivo.

Attualmente esistono diversi sviluppi e sperimentazioni su scala globale nel campo di abitazioni o laboratori smart basati su un paradigma Aml, ognuno di essi con un focus e una prospettiva diversi. In un'ottica comune, si può dire che tali ambienti possono assumere la forma di ambienti intelligenti in un contesto accademico così come domestico, tramite hardware leggero e facile da installare, o software di simulazione.

L'Università dell'Ulster (Regno Unito) ha sviluppato un ambiente di vita intelligente per supportare lo sviluppo di tecnologie assistive, oltre a una serie di tecniche per il monitoraggio sanitario e la diagnosi. Questo ambiente si presenta sotto forma di un appartamento smart con soggiorno, sala da pranzo, cucina, un piccolo ufficio, un bagno e una camera da letto, ed è in grado di ottimizzare la raccolta e l'elaborazione di dati per l'assistenza agli abitanti.

Un altro esempio recente è la *Halmstad Intelligent Home* sviluppata presso l'Università di Halmstad (Svezia) che consiste in un appartamento di 50 m<sup>2</sup> con una camera da letto, costruito per fornire ai ricercatori, agli studenti e ai partner industriali un ambiente domestico tecnologicamente attrezzato. La sua prima applicazione è stato lo sviluppo di un approccio smart per il rilevamento degli occupanti.

La *Ubiquitous Home* (USA) è una casa intelligente che è stata sviluppata per studiare servizi attenti al contesto, e dispone di diverse stanze dotate di sensori multipli, sensori di visione, microfoni, sensori di pressione, accelerometri etc. La *Ubiquitous Home* riconosce il residente fornendo tag di identificazione a radiofrequenza (RFID) e utilizzando i sensori di visione installati.

Un altro esempio di casa intelligente è *HomeLab* (Paesi Bassi). Si tratta di una casa dotata di 34 sensori di visione distribuiti intorno a stanze singole con una sala di osservazione che permette al ricercatore di osservare e monitorare gli esperimenti condotti. L'obiettivo dell'*HomeLab* è quello di fornire dataset per studiare il comportamento umano in ambiente smart e indagare la comprensione e l'utilizzo della tecnologia da parte degli abitanti.

*PlaceLab* (USA) è un appartamento con diverse stanze che ha numerosi sensori distribuiti in ogni stanza, quali smart plugs, sensori di umidità, sensori di luce, sensori di flusso d'acqua, ecc. con lo scopo di studiare le tecnologie di ubiquitous computing in ambienti domestici.

Il progetto *TigerPlace* (USA) rappresenta uno sforzo per affrontare il problema dell'invecchiamento della popolazione e utilizza reti di sensori passivi implementati in 17 appartamenti all'interno di un istituto di cura per anziani. L'obiettivo del progetto è quello di individuare modelli che rappresentino le condizioni di salute fisica e cognitiva dei pazienti, riconoscendo quando i loro modelli attuali deviano dal loro standard.



*Toyota Dream House Papi* (Giappone) è una casa intelligente dotata di sistemi informatici onnipresenti e tecnologie intelligenti per offrire un ambiente smart e adattabile con l'obiettivo di fornire servizi di assistenza domiciliare e home automation oltre che di risparmio energetico.

*Drexel Smart House* (USA) è stata sviluppata attraverso la trasformazione di un vecchio edificio in un ambiente di vita intelligente, focalizzando l'attenzione sull'analisi di fattibilità nell'introduzione di applicazioni tecnologiche intelligenti nel recupero degli edifici e delle abitazioni.

### 2.3 Digital Twin e Intelligenza Artificiale

Il Digital Twin rappresenta una singola entità o un sistema di esse, ed il suo valore risiede nell'uso integrato di simulazioni 3D, dispositivi IoT, reti 4G e 5G, *blockchain*, *edge computing*, *cloud computing* e sistemi di Intelligenza Artificiale che analizzano e processano dati operativi e storici, così come presenti e futuri, sviluppando capacità predittive. Peculiarità del Digital Twin, che lo distingue da un semplice modello informativo, è la capacità quindi di comprendere e imparare da se stesso con un approccio sistemico, sfruttando gli in-put "umani" per affrontare eventi inaspettati mediante l'elaborazione di una vasta mole di dati che permette un controllo efficiente e tempestivo della rete.

Sul fronte tecnologico, diverse tipologie di sistemi concretizzano la realizzazione del gemello digitale: principalmente la capacità di calcolo, i sensori e la capacità di simulazione/visualizzazione. Il motore del Digital Twin si basa infatti su un'enorme quantità di dati e su elaborazioni che necessitano di una elevata potenza di calcolo, nonché di memorizzazione ed ampiezza di banda.

In questo contesto, dunque, il vero progresso tecnologico è giunto proprio con l'invenzione dei sensori, che permettono la configurazione di edifici e ambienti intelligenti, interrogabili e capaci di interagire con l'uomo, ottimizzando i consumi, monitorando gli impianti e prevedendo guasti in modo da intervenire prima che essi si verifichino.

Mediante strumenti di realtà virtuale ed aumentata e simulazione visiva è possibile poi studiare gli edifici in modalità immersiva e/o realistica, visualizzando il progetto ed il suo sviluppo molto prima che questo raggiunga il cantiere e descrivendo realisticamente le entità fisiche che lo compongono, generando valore e supporto ai processi decisionali.

Il gemello digitale realizzato a partire da un modello informativo BIM (Building Information Modeling) mira ad essere in grado di aggiornarsi continuamente, traendo informazioni dalle molteplici sorgenti installate nello SmartLab, rappresentando in tempo reale il suo stato, le condizioni di lavoro o i fattori ambientali. Il gemello digitale "impara" infatti da se stesso e dai dati che incessantemente raccoglie, sfruttando l'integrazione con algoritmi di Intelligenza Artificiale e auto-apprendimento, che individuano risposte sempre più mirate per far fronte a specifiche esigenze e risolvere problemi concreti.

Grazie ai dati raccolti, dunque, il Digital Twin evolve e si aggiorna continuamente in modo da rispecchiare le modifiche alla controparte fisica in tutto il ciclo di vita e, essendo una copia non solo virtuale ma anche dinamica di un bene fisico, ha la capacità di mostrare in tempo reale gli ambiti nei quali è indispensabile intervenire per ottimizzare le prestazioni o per prevenire eventuali criticità o malfunzionamenti.

I benefici derivanti sono dunque numerosi e spaziano dalla possibilità di configurare scenari di manutenzione predittiva per ottenere un notevole risparmio sui costi, nonché un evidente miglioramento dei servizi per gli utenti, all'aumento della sicurezza e l'ottimizzazione delle risorse. Grazie all'ingente banca dati in costante aggiornamento, il concetto di gemello digitale si può ampliare alla scala urbana e territoriale, per contribuire alle strategie dei *decision makers* a lungo termine su tematiche come la gestione delle infrastrutture, delle risorse, la pianificazione urbana, la sostenibilità ambientale.

Inoltre, l'utilizzo del Digital Twin migliora l'efficienza e riduce gli sprechi energetici, garantendo livelli più elevati di comfort per chi vi abita. Potendo inoltre simulare e studiare diversi scenari, si individuano le molteplici variabili per ottimizzare sempre più le prestazioni e garantire una manutenzione più specifica ed efficace, rendendo possibile prevedere il momento in cui un dispositivo o un impianto potrà cominciare a manifestare problemi di funzionamento, delineando interventi preventivi. Per esempio, è possibile gestire il condizionamento e i livelli di comfort ambientale dello SmartLab, considerando il numero di occupanti e monitorando gli spostamenti in tempo reale tramite sensoristica specifica integrata.

Parimenti un sistema di autoapprendimento che ottenga un flusso di dati continuo da sistemi IoT, quali ad esempio sensori di presenza e smart plugs, può profilare con precisione le singole utenze disegnandone i profili settimanali, giornalieri ed orari dei consumi medi e/o specifici fino ad arrivare al dettaglio di assorbimento di potenza della singola presa elettrica.

L’obiettivo del presente progetto è proprio quello di sfruttare le potenzialità del machine learning per creare un sistema automatizzato virtuoso di gestione della produzione e del consumo dell’energia elettrica e termica nella struttura in esame. Conoscendo infatti le condizioni di temperatura esterna e le previsioni meteo sull’intensità dell’irraggiamento solare diretto e diffuso, l’algoritmo può calcolare in anticipo l’energia massima producibile tramite sistemi di produzione dell’energia da fonti rinnovabili, mentre al contempo può ipotizzare i consumi sulla base di un’analisi statistica dei dati storici trasmessi dai sensori combinati con il calcolo giornaliero dei carichi termici effettuati in anticipo dal Digital Twin.

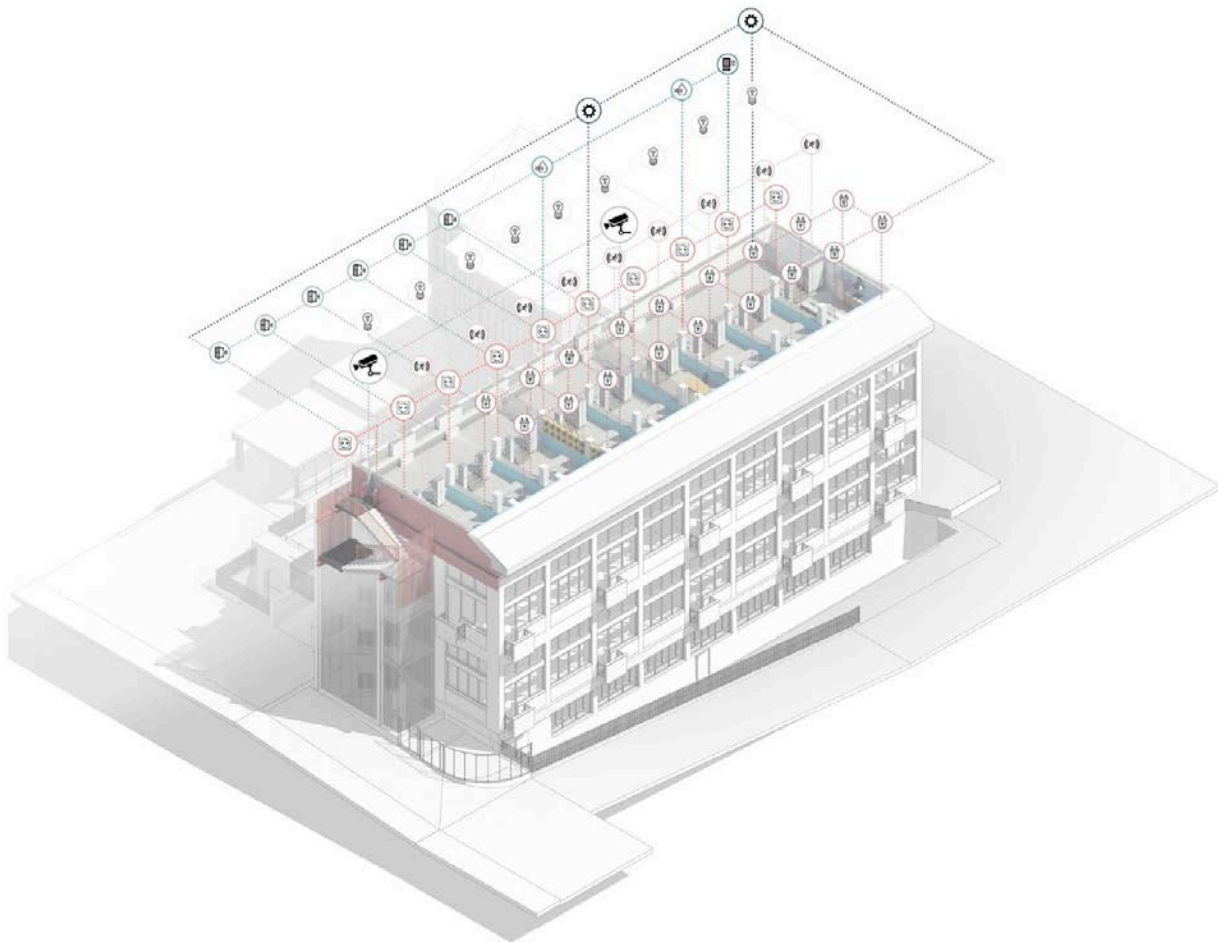
L’utilizzo di approcci basati su Digital Twin e l’Artificial Intelligence apre scenari virtuosi anche per quanto riguarda la sicurezza dei luoghi. Facilitando l’accesso, la gestione e l’interpretazione di immagini e video, infatti, l’Intelligenza Artificiale incrementa l’efficienza complessiva dei sistemi e soprattutto aiuta a prendere decisioni e a rilevare correttamente eventuali minacce. L’integrazione dell’AI nei sistemi di sicurezza è quindi strumentale a rilevare pericoli reali e ad intraprendere le più efficaci azioni di risposta. In questo senso il ruolo dell’AI è soprattutto trasformativo: semplificando ed ottimizzando il lavoro degli addetti agli schermi, automatizzando la funzione di rilevazione.










In tal senso il *Deep Learning*, o apprendimento profondo, si ispira al modo in cui funziona il cervello umano, ed è una tecnologia che si basa su un processo di apprendimento stratificato per consentire la classificazione e memorizzazione di dati. Si tratta di un processo cumulativo dove più elementi vengono analizzati, migliorando la precisione e l’accuratezza dell’informazione fornita.

I vantaggi di questa tecnologia per il riconoscimento e la classificazione delle immagini, la rendono estremamente virtuosa nel campo della sicurezza permettendo il riconoscimento di un’analisi del comportamento, o addirittura il cambiamento di una situazione nella scena ripresa.



Figura 1. Processo di interazione Big Data/Artificial Intelligence mediante Digital Twin



	n. 18 Smart Plug		n. 2 Humidity & Temperature sensor
	n. 10 Wireless Switch		n. 1 Smart air purifier
	n. 9 Motion Sensor		n. 2 Control Hub
	n. 2 Security Camera		
	n. 9 Smart lighting		
	n. 6 Window sensor		

**Figura 2. SmartLab Digital Twin e rete IoT**

## 3 Reti intelligenti per la gestione efficiente dell'energia elettrica

### 3.1 Il metodo

Al fine di ottenere un sistema di gestione energetico automatico, è fondamentale affrontare il problema della sintesi automatica di best practice per il risparmio energetico o meglio per la governance efficiente. In altre parole, occorre dotare i sistemi di gestione dell'energia della capacità di estrarre le regole di impiego osservando le installazioni con un profilo energetico più efficiente. Occorre suddividere il problema in tre sotto-problemi distinti:

- definire una metodologia per raggruppare installazioni per similarità di efficienza energetica;
- selezionare la migliore installazione nel gruppo dal quale apprendere le regole;
- analizzare ed estrarre le regole dai consumi dell'installazione selezionata.

Bisogna inoltre puntualizzare che un approccio automatizzato di sintesi delle regole risulta ulteriormente complicato dal fatto che l'ambiente è soggetto a mutamenti ed il carico energetico può cambiare in maniera imprevedibile nel tempo. Di conseguenza, si presentano due ulteriori sotto-problemi:

- "codificare" in maniera appropriata un'installazione in base ai dispositivi presenti;
- dedurre in maniera automatica quali dispositivi fanno parte di una installazione.

Dare una soluzione ad ogni sotto-problema equivale a definire un sistema in grado di gestire indipendentemente i cambiamenti del profilo energetico e di rivalutare le best practice a regime (modificando all'occorrenza le regole di utilizzo) senza intervento umano, raggiungendo quindi un comportamento autonomo.

Nello specifico, per ciascuno dei sotto-problemi, sono reperibili nella più recente letteratura di Machine Learning numerosi protocolli e metodi innovativi, nonché tecniche generali che ammettono applicazione nel campo. L'approccio seguito in questa linea di investigazione è quello di utilizzare metodi ibridi, ovvero sia tecniche simboliche che di machine learning. Le analisi sperimentali condotte hanno chiaramente dimostrato che l'approccio adottato è premiante per una serie di ragioni che saranno declinate in dettaglio, analizzando le soluzioni proposte per i singoli sotto-problemi.

### 3.2 Raggruppamento di installazioni simili

L'approccio adottato consiste nel rappresentare un impianto come un vettore in uno spazio n-dimensionale. I vari apparecchi utilizzatori di energia possono essere definiti come appartenenti a categorie (stampante, frigorifero, televisione, computer, macchina del caffè, ...) di cui si può creare una lista ordinata. Un impianto si può quindi definire come un vettore la cui componente i-esima è il numero di apparecchi appartenenti alla categoria i-esima della lista di cui sopra.

Come esempio si considerino tre tipici impianti come possono essere tre generici uffici o appartamenti: nel primo vi sono due stampanti, dieci computer ed una macchina del caffè, nel secondo vi sono un frigorifero, due televisioni, una lavatrice e un forno, mentre nel terzo cinque computer, una macchina del caffè, un frigorifero ed una stampante.

La lista di categorie in questo caso sarà  $C = \text{Stampante, Computer, Frigorifero, Macchina del caffè, Televisione, Lavatrice, Forno}$  e quindi i tre vettori rappresentanti gli impianti saranno  $p_1 = [2,10,0,1,0,0,0]$ ,  $p_2 = [0,0,1,0,2,1,1]$ ,  $p_3 = [1,5,1,1,0,0,0]$ . Una volta ottenuta questa rappresentazione vettoriale, si possono usare algoritmi conosciuti per raggruppare i dati quali k-means clustering. I livelli di similitudine raggiunti, su base sperimentale, sono notevolmente sofisticati, alla prova di gold standard sia randomici (richieste di comparazione a soggetti all'oscuro del dominio di rappresentazione) che esperti (gruppi di utenti di uffici).

### 3.3 Selezione dell'installazione migliore

Osservando il comportamento generale dell'edificio il dato più facile da rilevare è appunto il consumo energetico e quindi, scendendo di scala alle differenti tipologie impiantistiche esistenti, l'impianto da ritenere migliore è quello che ha consumato di meno all'interno del suo gruppo di riferimento, così come individuato dalla tecnica sopra descritta. Ovviamente i termini di confronto si definiscono secondo classi che emergono dal clustering, quindi non necessariamente univoche.

### 3.4 Estrazione delle regole di comportamento

In questo caso, invece, si rende necessario l'utilizzo di tecniche di machine learning innovative per poter risolvere il problema, applicate alla conoscenza della curva di consumo dei dispositivi nel tempo.

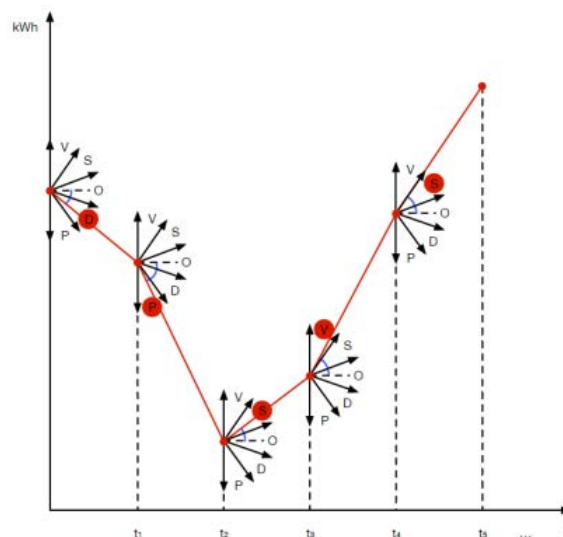
Quando si cercano delle relazioni all'interno di grandi quantità di dati si dice che si stanno cercando delle "regole associative": è il caso, ad esempio, dell'analisi di comportamento dei consumatori nei supermercati, in cui l'analisi dei prodotti che fanno parte di un unico acquisto serve a comprendere le tendenze di acquisto dei clienti. Dai dati di consumo è immediato determinare i momenti in cui ogni elemento è acceso o spento; è pertanto, possibile avere la conoscenza di base per poter dedurre queste regole associative (association rule mining). Inoltre, è abbastanza naturale che il livello di consenso sulle regole non sarà mai totale e quindi le regole andranno associate a etichette di natura non monotona, da trattare, a valle della loro estrazione, con metodi non classici quali logiche probabilistiche e sistemi "defeasible reasoning". Il ragionamento "defeasible" è un tipo particolare di ragionamento non dimostrativo, in cui il ragionamento non produce una dimostrazione piena, completa o finale di un'affermazione, cioè, in cui la fallibilità e la corruttibilità di una conclusione sono riconosciute. In altre parole, il ragionamento "defeasible" produce un'affermazione contingente o un'affermazione

### 3.5 Riconoscimento automatico degli apparati

Lo scopo della tecnica sviluppata in questo specifico è la rappresentazione del consumo di un dispositivo in un intervallo temporale in forma di breve "discorso", ovvero una sequenza di parole; questo per poter poi distinguere uno dall'altro i singoli dispositivi misurando quali parole ciascuno usa più frequentemente, in maniera analoga a quanto si utilizza nei sistemi di elaborazione del linguaggio naturale (dove, ad esempio, si è in grado di distinguere se uno scritto è di un autore piuttosto che di un altro solo osservando i loro testi e lo stile utilizzato).

Di fatto si applica la tecnica classica di authorship attribution per la classificazione di dispositivi.

Il consumo di un apparecchio nel tempo può essere considerato come una funzione continua della potenza.



**Figura 3. Tecnica di traduzione dei consumi in "parole"**

Eseguendo rilevazioni ad intervalli regolari  $T = \{t_1; \dots; t_n\}$ , si ottiene una serie di punti collegati da una linea spezzata: questa rappresentazione a segmenti presenta un vantaggio: permette di ottenere facilmente il valore dell'angolo sotteso dal segmento congiungente due misure successive (gli archi in colore blu di Figura 3). Gli angoli usati come criterio rendono il metodo insensibile alle variazioni di scala, fattore importante quando si vogliono classificare degli elementi sulla base del comportamento (due frigoriferi di differenti dimensioni hanno curve di consumo scalabili, ma differenti).

A questo punto, avendo gli angoli, si applica una tabella di conversione per cui ogni angolo viene trasformato in una lettera dell'alfabeto che ne rappresenti in qualche modo la "pendenza", per cui la curva di consumo di un apparecchio in un determinato intervallo di tempo viene ad essere rappresentata come una sequenza di caratteri. In questo modo, al termine delle trasformazioni di cui sopra, una sequenza di misure di potenza diventa una sequenza di parole, ovvero una specie di "impronta verbale" (footprint) del dispositivo in esame. È così possibile sfruttare algoritmi di Intelligenza Artificiale per l'analisi dei testi e riconoscere le similarità tra dispositivi. In astratto si può dire che quelli con più parole in comune nella loro footprint saranno considerati simili.

### 3.6 Piano Operativo

Una possibile soluzione al problema sopra esposto del riconoscimento automatico degli apparati fa uso di tecniche di intelligenza Artificiale, in un sistema esperto che vedrà tre fasi:

1. realizzazione dell'infrastruttura e del software di base;
2. addestramento del sistema;
3. utilizzo del sistema per la previsione del comportamento ottimale.

Per ciascuna fase vi sono degli accorgimenti e delle tecnologie specifiche di controllo. Il sistema *semantico* detiene la conoscenza del comportamento di produttori ed utilizzatori in dati *riassuntivi*.

Il sistema semantico viene interrogato grazie ad una web application. I passi necessari alla realizzazione di un sistema di intelligenza artificiale per la gestione di una rete elettrica locale sono:

- definizione dei requisiti (sulla base dello specifico impianto);
- creazione dell'infrastruttura di rete e del software di base;
- addestramento del sistema;
- test del sistema.

## 4 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 4.1 Cenni storici

Valle Giulia è una zona centrale di Roma, tra Villa Borghese e la collina dei Parioli, una piccola valle dove ancora oggi è collocata Villa Giulia, oggi sede del Museo Nazionale Etrusco di Villa Giulia, dal nome di papa Giulio III. L'assetto attuale della valle deriva, in larga misura, da quello che le fu dato in occasione dell'Esposizione del 1911: vi sorge la Galleria Nazionale d'Arte Moderna. A partire dal 1911, proseguendo poi nei periodi successivi, ha avuto luogo la localizzazione nell'area di molti istituti di cultura di paesi esteri, come la Gran Bretagna, il Belgio, il Giappone, la Romania.

Nel 1930, in seguito alla concessione edilizia ottenuta tramite Regio Decreto, alle pendici della collina che prospetta la valle, ha sede la prima Facoltà di Architettura, inaugurata dalla Sapienza nel 1920 ed ancora oggi esistente. La Scuola Superiore di Architettura di Roma viene istituita infatti formalmente nel 1920. Prima della Scuola l'insegnamento dell'architettura era diviso fra accademie di belle arti e scuole d'ingegneria. Tra il 1925 e il 1926 Enrico Del Debbio viene incaricato di progettare la nuova sede per la Regia Scuola Superiore di Architettura nei pressi di Valle Giulia in un terreno demaniale, nei pressi "di Valle Giulia dal lato dei Parioli, immediatamente a sinistra del palazzo dell'Accademia Inglese di Belle Arti.

La Facoltà di architettura ha una superficie di mq. 3500 quasi quadrata; trovasi in condizioni altimetriche caratterizzate da fortissimi dislivelli. La nuova scuola di Architettura, impostata su un impianto ad U, contiene cinque grandi Aule per il disegno, cinque per le lezioni, una grande biblioteca/aula magna, tutti serviti da una grande galleria.

L'edificio, rivestito di intonaco color rosso-bruno, poggia su un imponente basamento in pietra bianca.



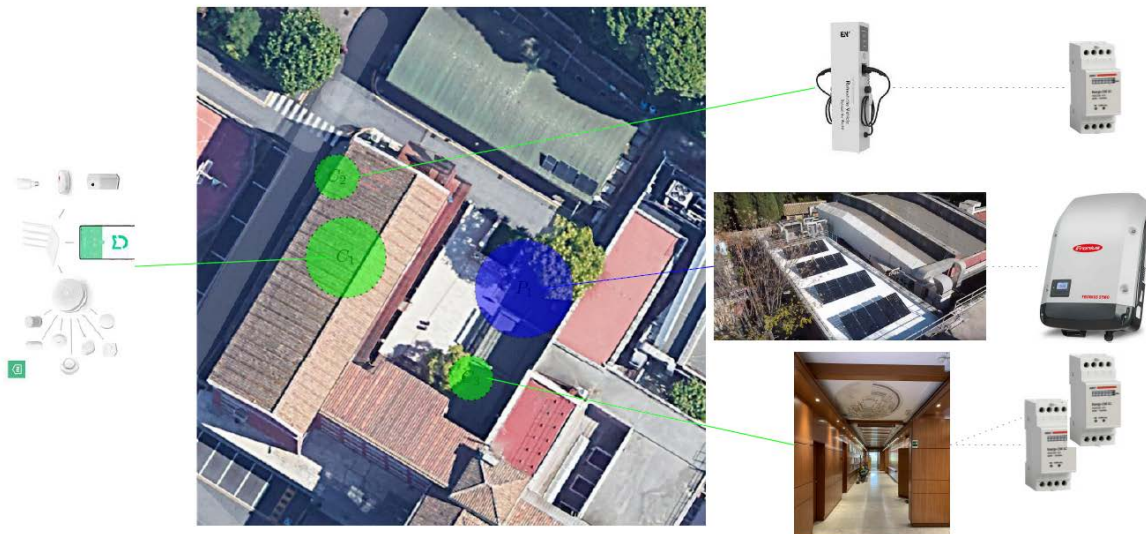


**Figura 4. Facoltà di Architettura, Via Antonio Gramsci 53, Roma**

#### 4.2 Il Caso di Studio: SMART GRID ENERGETICA A SERVIZIO DI UNO SMART LAB

Il caso di studio di questo progetto è focalizzato sulla gestione energetica di un laboratorio del Centro di ricerca Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente (CITERA). L'impianto, rappresentato in figura 5 consta di un sistema di produzione elettrica basato su pannelli fotovoltaici installati su un tetto piano, governati da un inverter, e da diversi carichi connessi, quali:

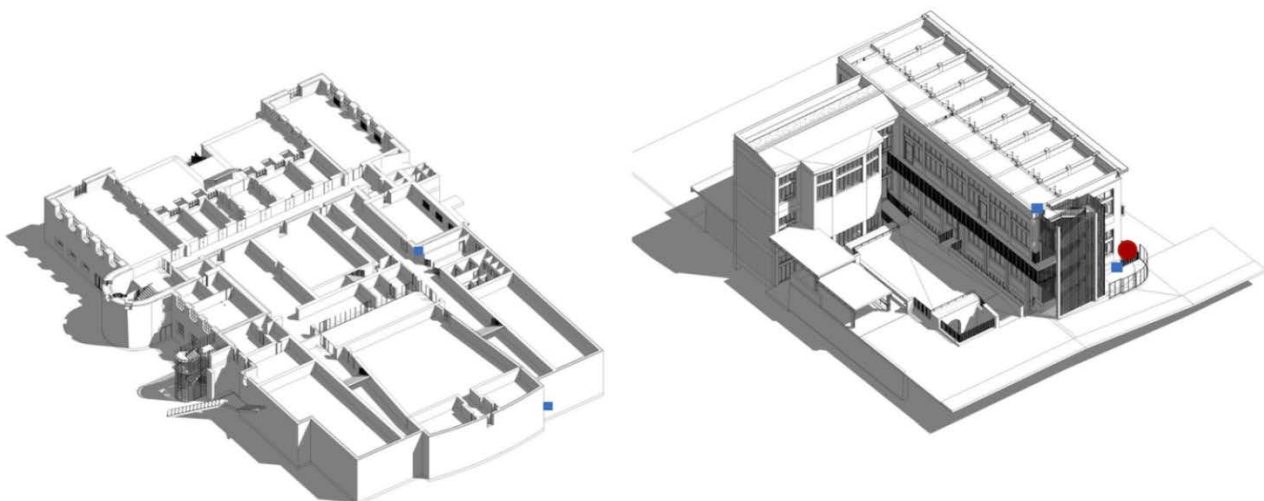
- luci nei corridoi adiacenti l'aula magna;
- laboratori del Centro Interdipartimentale;
- colonnina di ricarica per autoveicoli.



**Figura 5. Rete elettrica locale con produzione di energia da fonte rinnovabile**

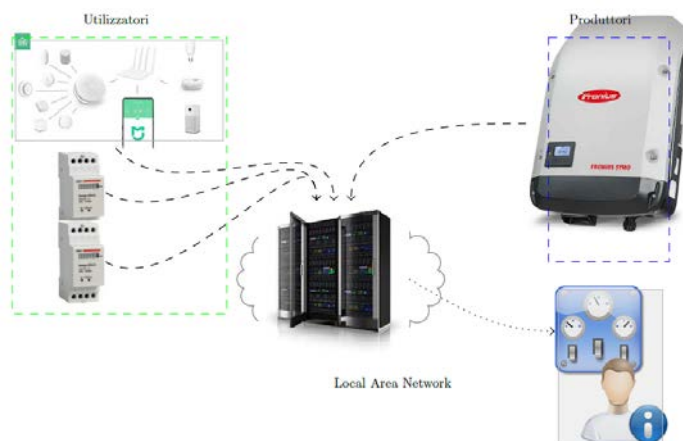
La creazione dell'infrastruttura di rete prevede il posizionamento di misuratori, rappresentati in Figura 6.





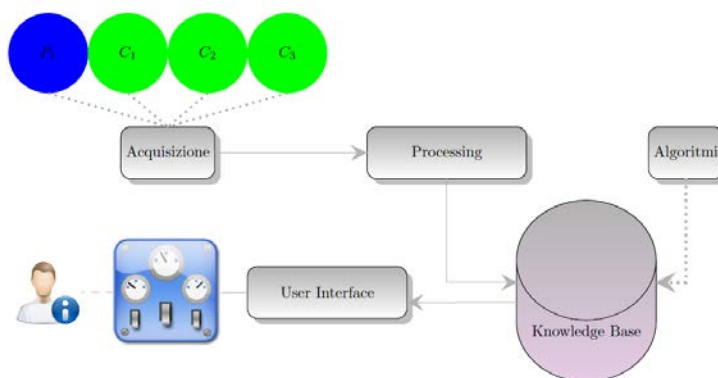
**Figura 6. Ubicazione dei misuratori**

Questi misuratori devono essere interconnessi tramite una rete dati dedicata in tecnologia mista, composta da alcune tratte via cavo e da due componenti di connessione wireless, fino ad un sistema centrale di registrazione ed elaborazione dei dati, come espresso in Figura 7.



**Figura 7. Concetto operativo**

L'architettura logica del sistema rispecchia e si integra con l'infrastruttura sopra definita e viene illustrata nelle figure 7 e 8.



**Figura 8. Architettura logica generale del sistema**

### 4.3 *La configurazione dello SmartLab*

Lo spazio deputato alla realizzazione dello SmartLab ha uno sviluppo planimetrico longitudinale e dimensioni di circa 32 metri di lunghezza e circa 12 metri di larghezza, suddiviso in due ambienti principali da un divisorio in materiale plastico leggero (Fig. 9). L'accesso principale della sala si trova su uno dei lati corti, con aperture a vasistas sul lato lungo esposto a sud-est che si estendono per quasi tutta la lunghezza del muro. L'ambiente è suddiviso in 9 workspaces simili a dei "box" e posti ad una quota inferiore rispetto al connettivo lungo il quale si sviluppa il laboratorio. Ogni "box" contiene 4 prese di corrente e 4 prese di rete.

Questa sezione descrive l'esperienza di sviluppo e configurazione dello SmartLab considerando: il suo layout planimetrico, la selezione dei dispositivi, l'applicazione di gestione dei dati e l'implementazione di un vero e proprio sistema di gestione smart, basato sulla configurazione del suo gemello digitale costantemente connesso al suo doppio reale.

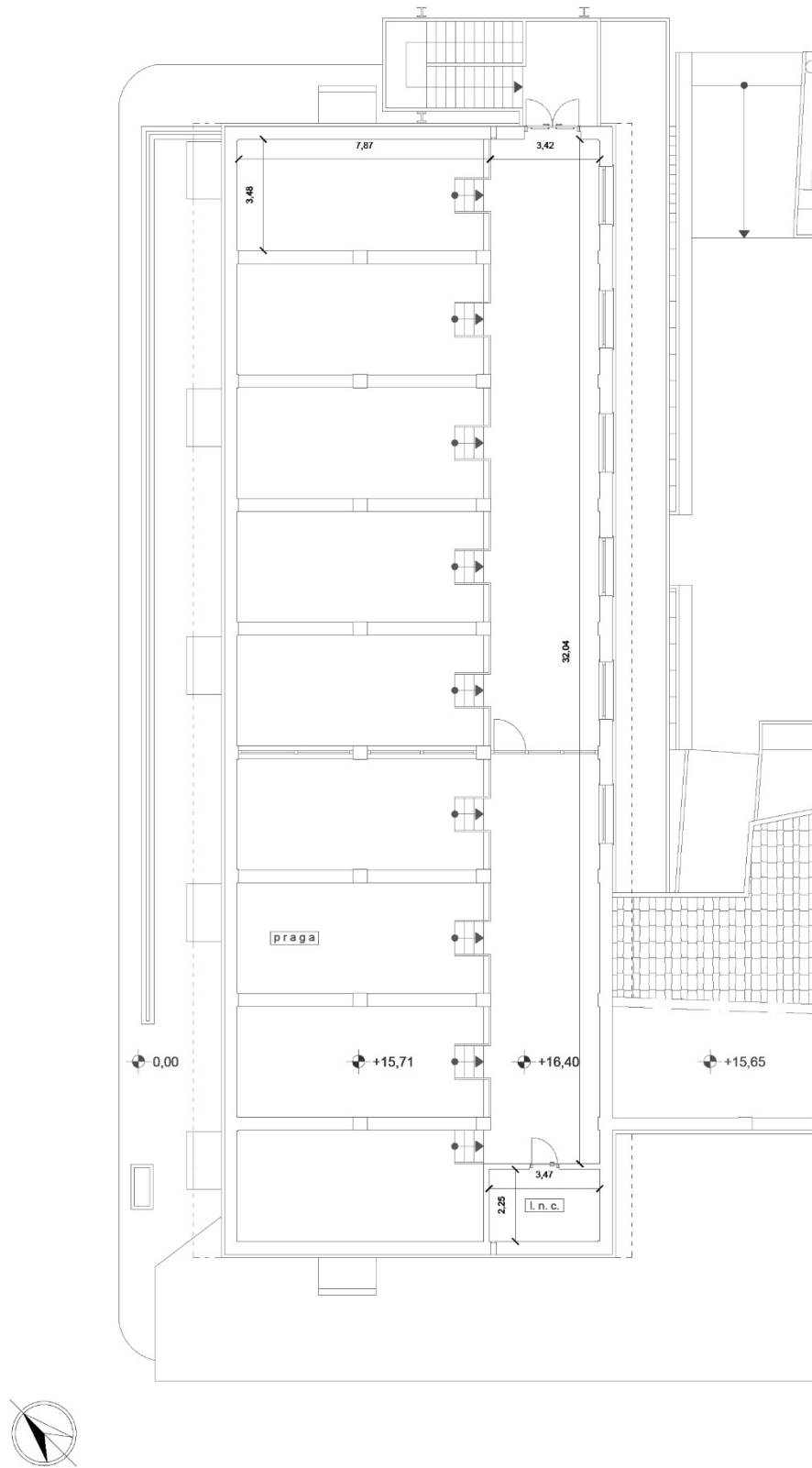


Figura 9. Planimetria dello SmartLab

#### 4.4 Layout dello SmartLab e context awareness

All'interno dello SmartLab si configura un vero e proprio sistema di *context-awareness*, letteralmente "consapevolezza del contesto", tramite applicazioni che hanno consapevolezza dell'ambiente in cui l'utente si trova e grazie a questo possono adattare il loro comportamento, ad esempio, nell'ottica di conseguire obiettivi di risparmio energetico [3]. Nel caso del laboratorio, il sistema è prevalentemente basato sul rilevamento della presenza tramite sensori elettronici di tipo PIR (Passive InfraRed), che rilevano la radiazione infrarossa irradiata dagli oggetti nel loro campo visivo. Se viene rilevato un movimento, ad esempio, le luci (come la luce1 o la luce2) sono accese nell'area specifica dove esso viene rilevato, come mostrato in figura 10.

Anche la temperatura e la qualità dell'aria sono parametri valutati da specifici sensori che, in base ad una certa soglia, azionano sistemi di smart windows per il ricambio dell'aria o purificatori d'aria per il rispetto dei requisiti di benessere ambientale.

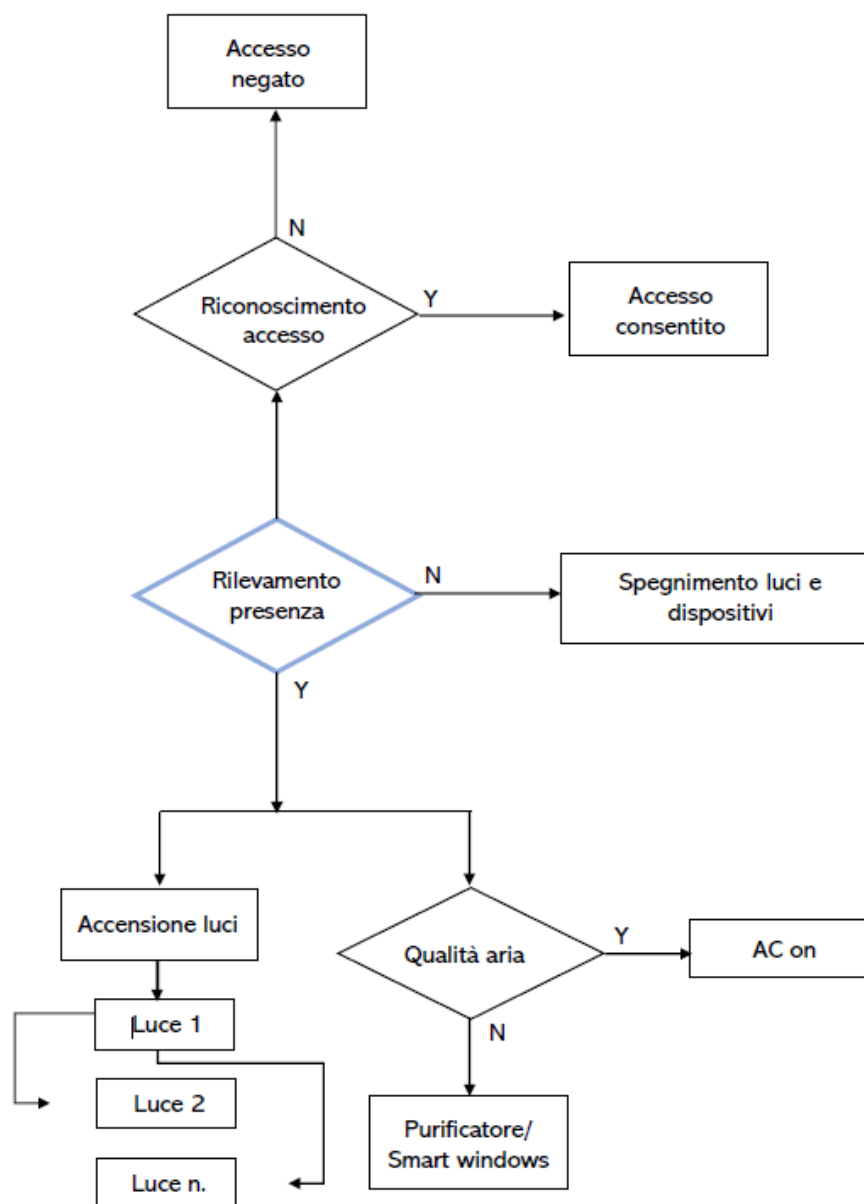


Figura 10. Diagramma funzionale dei dispositivi

Dal punto di vista dell'IoT risulta particolarmente importante declinare il paradigma del sistema *context aware*, dividendo il processo in tre stadi, come di seguito riportato:

- **Stato iniziale:** il contesto può essere usato per decidere quali informazioni e servizi devono essere forniti all'utente. Questo stato iniziale serve a fornire informazioni all'utente in base al luogo e al tempo.
- **Esecuzione:** l'esecuzione automatica di tutti gli *appliances* è uno dei fattori critici nel *system context aware*, in cui la comunicazione da macchina a macchina è parte integrante del sistema IoT.
- **Context tagging:** diversi sensori collegati alle apparecchiature raccolgono, analizzano e interpretano un gran numero di dati. Il singolo sensore non può produrre un'adeguata mole di dati; pertanto questi devono essere fusi e connessi da diverse sorgenti (sensori). Per mettere in atto il processo di fusione dei dati provenienti dal sensore, il context deve essere etichettato insieme ai dati del sensore che saranno successivamente elaborati e valutati.

Al giorno d'oggi, la maggior parte dei *context-aware systems* si basano sul concetto di contesto esterno per il quale si intendono i dati di contesto raccolti dai sensori fisici, compresi quelli relativi all'ambiente fisico stesso, i dati di localizzazione, la distanza, la funzione, la temperatura, il suono, la pressione dell'aria, i livelli di illuminazione che circondano gli utenti, e così via. Nel sistema proposto per la creazione di un ambiente di laboratorio intelligente dotato di *context-awareness*, la prima fase è stata dunque l'analisi volta all'identificazione delle aree funzionali che compongono lo spazio dello SmartLab, da equipaggiare con un sistema di sensori per la gestione smart degli ambienti senza modifiche alla configurazione interna, riportata in figura 11: ingresso/corridoio, ambiente 1 (composto da 5 workspaces) e ambiente 2 (composto da 4 workspaces).

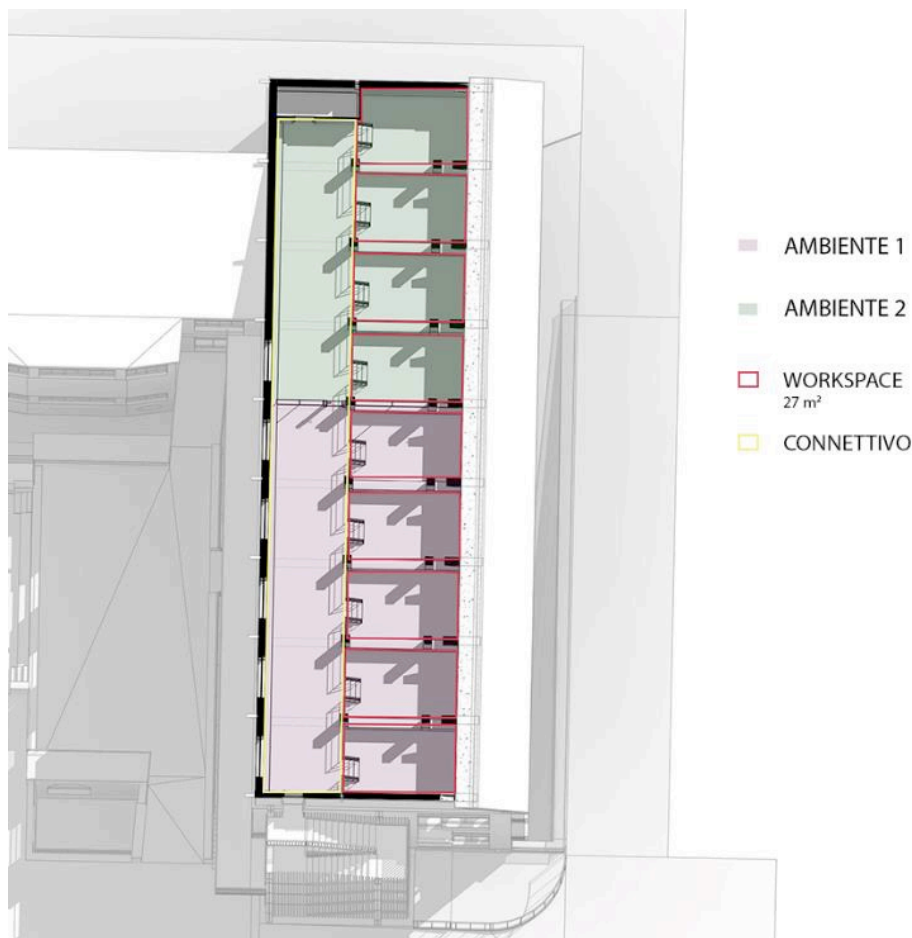


Figura 11. Configurazione degli ambienti del laboratorio

#### 4.5 Selezione dei dispositivi

Il sistema IAmIS proposto è costituito da cinque componenti principali:

- rilevamento e tracciamento del corpo;
- riconoscimento del volto;
- controllo Aml;
- sistema di monitoraggio e moduli interattivi.

L'analisi delle principali soluzioni esistenti sul mercato per l'individuazione e la selezione dei dispositivi e delle tecnologie da impiegare (riportati nella tabella 1) nel contesto di uno spazio adibito a uffici/laboratorio, evidenzia come il mercato stia sempre più evolvendo sul tema dell'efficacia di tali dispositivi basati anche su tecnologie assistive per esigenze di domotica assistenziale.

Categoria	Dispositivo	Applicazione
Sensori ambientali	Sensori di interruzione, movimento, pressione, presenza, luminosità, temperatura, CO2.	Monitoraggio delle attività umane, riconoscimento dell'attività, sollecitazione, domotica, rilevamento di condizioni insolite e monitoraggio del comportamento.
Dispositivi portatili/indossabili	Orologi intelligenti, sensori di accelerazione e sensori giroscopici.	Rilevamento delle cadute, monitoraggio fisiologico e controllo del dispendio energetico.
Attuatori	Lampadine, strisce led, allarme, altoparlanti, serrature.	Rilevamento delle cadute, monitoraggio fisiologico e controllo del dispendio energetico.
Dispositivi a basso costo	Raspberry Pi con sensori e attuatori. Arduino con sensori e attuatori.	Prototipi: controllo dell'assunzione di farmaci, monitoraggio domestico e sicurezza domestica.
Indoor	Fari, adesivi e Leap Motion.	Monitoraggio delle attività umane e dei comportamenti.
Vision cameras	IP cameras, Web cam	Monitoraggio delle attività umane, monitoraggio del comportamento e sicurezza.
Brain interfaces	BrainLink Macro-tellect, Emotiv Insight, Emotiv EPOC	Controllo remoto, segnali di monitoraggio, rilevamento di emozioni, espressioni facciali e benessere emotivo
Human Computer interfaces	Amazon Echo Google Home	Controllo remoto

Tabella 1. Analisi delle categorie di dispositivi IoT e assistivi esistenti

Alcuni dei dispositivi riportati infatti possono essere indossati dall'utente o incorporati nel laboratorio intelligente al fine di raccogliere dati e ottenere un profilo personalizzato dei modelli fisici e fisico-logici dell'utenza. L'insieme dei dispositivi può analizzare suoni, immagini, movimenti del corpo, parametri ambientali (luce, temperatura, umidità, ecc.) e parametri vitali (pressione sanguigna, temperatura corporea, frequenza cardiaca/impulsi, ossigenazione del sangue, ECG, ecc).

Di solito, questi dispositivi si collegano attraverso reti cablate o wireless a sistemi di servizio per garantire livelli efficaci ed efficienti di assistenza sanitaria per gli anziani e i disabili che vivono da soli.

Sulla base delle analisi svolte, il sistema selezionato utilizza un hardware a basso costo che permette la realizzazione di un *context-aware system* (partendo dall'individuazione dell'identità della persona), dotato dei dispositivi di seguito descritti.

**Controller:** Il controller è il “cervello” del sistema che comunica con i singoli componenti e combina i dati per configurare il sistema complessivo. L'Hub di controllo centrale con il quale tutti i sensori comunicano le loro informazioni è collegato alla rete di sensori tramite WiFi, ed è in grado anche di svolgere la funzione di spia audio in caso di necessità.

**Face recognition:** Il sistema di riconoscimento facciale identifica le persone nel laboratorio e utilizza un classificatore per definire se la persona identificata è un membro del laboratorio o un visitatore. Il sistema di riconoscimento dei volti elabora il segnale di una camera che sorveglia i due ingressi del laboratorio, analizzando un database. Utilizzando una videocamera RGB integrabile con software open source basato su reti neurali profonde, per eseguire il riconoscimento dei volti, si avvia il processo di riconoscimento facciale diviso in cinque fasi: pre-elaborazione, rilevamento facciale, allineamento facciale, codifica facciale e riconoscimento dell'immagine.

**Motion Sensor:** Sensore di movimento in grado di rilevare la presenza fino a 6 m di distanza massima. Il sensore ha la funzione di rilevare e registrare un conteggio delle presenze nelle varie zone, al fine di consentire la possibilità ad algoritmi di Artificial Intelligence di memorizzare quali siano le abitudini, gli orari e i consumi degli utenti.

**Temperature/Humidity Sensor:** Monitor e sensore di temperatura ed umidità che può comunicare con il Controller centrale riportando le informazioni su temperatura e umidità dell'aria, al fine di mettere in funzione il purificatore d'aria, sistemi di *smart windows*, o inviare un segnale di allerta per rientrare nei range stabiliti.

**Security Camera:** Sistema di telecamere in grado di riprendere e registrare a 1080p ruotando a 360° per una piena visibilità. La camera è in grado, oltre che di svolgere una funzione di sicurezza, di rilevare e riconoscere le figure dando così la possibilità ai software di AI di apprendere i comportamenti, gli orari e le abitudini “energetiche” degli utenti.

**Window/Door Sensor:** Sensori in grado di rilevare e comunicare al Controller l'apertura di porte e finestre. Oltre a svolgere una funzione di sicurezza, sono in grado di comunicare con il purificatore d'aria per eventualmente modularne il funzionamento.

**Smart plug:** Presa smart in grado di comunicare con il software di AI il conteggio degli utilizzi ed il profilo complessivo dei consumi energetici, in modo tale da garantire l'apprendimento su ogni singola presa, fornendo così informazioni utili a stabilire una gerarchia di priorità energetiche da attribuire alle varie zone in caso di carenza energetica del sistema.

**Smart air purifier:** Silenzioso ed efficiente purificatore d'aria collegato in WiFi al sistema e alla sensoristica presente, in grado di rilevare anche le minime variazioni nella qualità dell'aria, garantendo sempre livelli di



inquinamento bassissimi. Il purificatore è posizionato nell’area del laboratorio con il minor numero di finestre e quindi con le condizioni peggiori di ventilazione naturale.

**Smart lighting:** Sistema di lampadine smart con funzione di “spia di presenza” connesse alla rete wifi, in grado di accendersi se il sensore di movimento rileva la presenza di un soggetto all’interno del box.

**Wireless switch:** Interruttore smart programmabile che, in base al numero di click eseguiti può compiere diverse funzioni come spegnere o accendere le luci, segnalare un’emergenza via applicazione o con un segnale acustico, spegnere o accendere le prese smart etc.

**Sistema di monitoraggio remoto:** Il sistema di monitoraggio fornisce un'interfaccia utente per monitorare il sistema da remoto tramite l’analisi in tempo reale degli eventi e dei dati memorizzati. L’applicazione integrabile su dispositivi mobili contiene informazioni utilizzate per monitorare le attività o i livelli di prestazione dei dispositivi in tempo reale, gli ingressi nel laboratorio o altri dati interni, come le immagini dei volti dei visitatori o tutto quanto utile alla valutazione delle performance degli algoritmi per il miglioramento progressivo delle prestazioni.

**Moduli di interazione:** Il sistema è integrato con assistenti vocali e smart speaker connessi e dotati di WiFi in grado di recepire e rispondere ai comandi vocali degli utenti.

In tabella 2 è riportato l'elenco dei dispositivi installati nei vari ambienti.

Ambiente	Numero	Dispositivo
Ingresso principale	1	Security Camera
Connettivo	6	Window/Door Sensor
	9	Smart lighting
	2	Humidity/Temperature Sensor
	2	Control Hub
n. 9 Workspace	2	Smart plug
	1	Movement Sensor
Ingresso secondario	1	Security Camera

**Tabella 2. Riepilogo dei dispositivi installati negli ambienti**

## 5 Progettazione di un impianto SmartLab basato su reti neurali artificiali

Il principale luogo di utilizzo della energia prodotta dall'impianto fotovoltaico installato e gestito dalla smart grid energetica è lo smart lab gestito da reti neurali artificiali.

### 5.1 Smart Lab

Lo smart lab progettato nei locali che ospitano il centro di ricerca CITERA è energeticamente realizzato tramite sistemi basati su sensori che mirano a ridurre gli sprechi.

Questi sistemi presentano alcuni svantaggi, ad esempio non possono sempre adattarsi al modello di comportamento dell'utente e possono limitare gli sprechi di energia solo ad un certo livello.

Gli ambiti di applicazione sono:

- Riscaldamento
- Ventilazione
- Aria condizionata
- Intrattenimento
- Illuminazione
- Ombreggiamento
- Sistemi di sicurezza
- Applicazioni sanitarie
- Controllo di altre apparecchiature

Ad esempio, le case intelligenti possono anche essere considerate come parte delle smart grid come strategie di gestione dell'energia nella domotica e sono anche legate ai dati delle smart grid combinate con i sistemi di automazione domestica per utilizzare le risorse disponibili.

### 5.2 Area management systems

Gli obiettivi principali degli "area management systems" nella loro accezione di sistemi di controllo energetico di una porzione di edificio o di laboratorio sono essenzialmente il controllo e la gestione delle apparecchiature e dei sistemi locali. Un tale sistema, con il miglioramento delle tecnologie informatiche e dei sensori, cioè delle tecnologie di controllo remoto e intelligente e dell'informatica secondo le impostazioni predefinite dall'utente, è in grado di:

- raccogliere dati dall'ambiente;
- analizzare i dati raccolti;
- eseguire i comandi necessari.

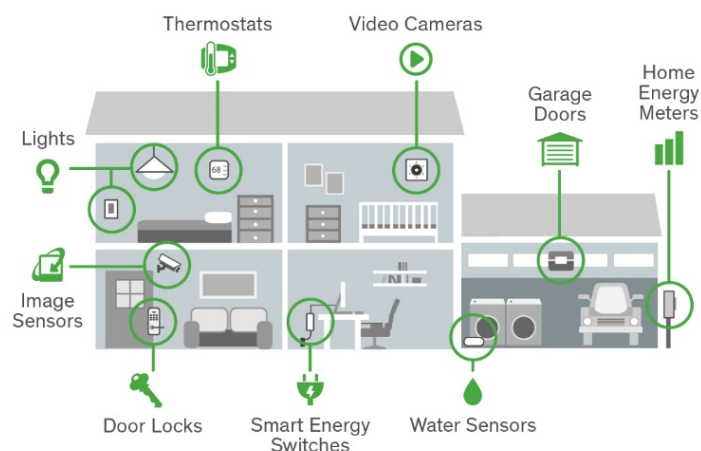


Figura 12. Esempio di home management system

Nel caso di studio in esame applicato ad uno smart lab in cui opera un centro di ricerca contenente essenzialmente apparecchiature informatiche, gli obiettivi di questi sistemi di controllo possono essere riassunti come segue.

**Risparmio energetico:** oltre il 50% nell'area di produzione solo per l'illuminazione

**Diagnostica e monitoraggio energetico dei singoli utenti:** misurazione e conservazione dei consumi delle singole utenze

**Supervisione e controllo integrati:** illuminazione e motorizzazione, clima, tecnologia, lotta antincendio, ecc.

**Assistenza a distanza:** intervento rapido e riduzione dei costi

### 5.3 Artificial neural network

I sistemi classici di casa intelligente basati su sensori e propongono una metodologia per l'implementazione di queste reti per costruire un sistema adattivo e intelligente.

I sensori sono necessari per monitorare e raccogliere i dati richiesti. Di routine, i sensori di movimento sono utilizzati per riconoscere le attività reali delle persone nelle case intelligenti.

Il riconoscimento delle attività umane è incluso in due categorie:

- utilizzo di sensori sul corpo umano per riconoscere i movimenti frequenti (come la corsa o l'escursionismo)
- utilizzando sensori su oggetti in ambienti per riconoscere oggetti in movimento e attività complesse.

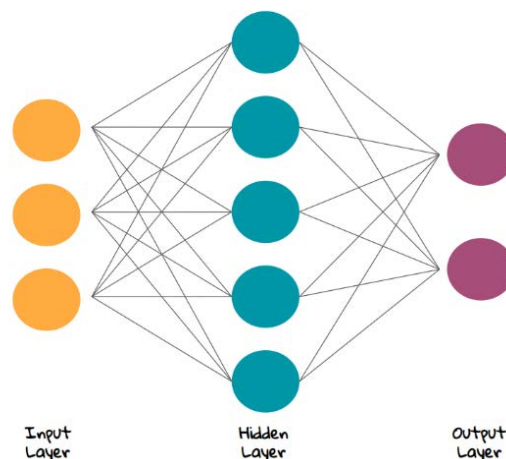


Figura 13. Artificial neural network

### 5.4 Sensoristica utilizzata

Il punto di connessione tra la realtà fisica (laboratorio reale) ed il suo "gemello digitale" cioè il modello BIM realizzato per le simulazioni, è il flusso di dati che in tempo reale viene inviato dal "reale" al "digitale". La maggior parte di questi dati sono ottenuti tramite l'installazione di opportuni sensori in grado di dialogare con il sistema di acquisizione dati e gestione area descritto nel paragrafo 5.2.

Nel caso in esame di seguito sono descritti in dettaglio i sensori installati all'interno dello smart lab nelle figure 14,15,16,17,18 e 19. In Figura 20 invece è mostrato il posizionamento dei singoli sensori all'interno delle differenti aree



**Figura 14. Sensore di umidità e temperatura (Xiaomi Mi Smart Home)**

[1]



**Figura 15. Sensore per porte e finestre (Xiaomi Mi Smart Home)**

[2]



**Figura 16. Presa intelligente (Xiaomi Mi Smart Home)**

[3]



**Figura 17. Gateway (Xiaomi Mi Smart Home)**

[4]



**Figura 18. Telecamera (Xiaomi Mi Smart Home)**

[5]



**Figura 19. Lampade Smart a LED (Xiaomi Mi Smart Home)**

[6]

- 
- [1] Sensore in grado di rilevare la temperatura ed i livelli di umidità della stanza in cui è collocato, registrando i vari cambiamenti ed inviando apposite notifiche se i valori superano le soglie impostate tramite l'app. Anche questo potrebbe, idealmente, essere collegato ad una presa intelligente o a un ventilatore Xiaomi per attivarli nel caso le temperature raggiungano livelli troppo alti.
  - [2] Il sensore per porte e finestre è costituito da due unità (una da collocare sulla porta o finestra, l'altra sulla struttura/bordo di questa); in questa maniera, consente di verificare se una porta/finestra è chiusa o aperta. Ovviamente, può essere integrato con gli altri dispositivi e puoi programmare la "reazione": per esempio far scattare la sirena, accendere le luci o attivare la videocamera.
  - [3] Si tratta di una presa gestibile da remoto e in grado di monitorare i consumi energetici che può rendere smart apparecchiature che non lo sono. Può interfacciarsi con lo smart switch o con il sensore di temperatura.
  - [4] Il gateway è una sorta di ponte che consente il controllo degli altri dispositivi. Si può decidere di utilizzarlo come antifurto/sirena qualora i sensori abbiano rilevato qualcosa di anomalo; allo stesso modo le luci possono accendersi, cambiare di intensità o di colore.
  - [5] Telecamera di Sorveglianza per interno ed esterno, Full HD, Rilevamento del Movimento, Visione Notturna, Audio Bi-direzionale, Videocamera.
  - [6] Con una luminosità fino a 400 lumen, la lampada è in grado di illuminare una stanza. Per regolare la luminosità è sufficiente far scorrere il dito sulla barra della luminosità. Di notte, toccando un punto qualsiasi della barra della luminosità, la lampada si accende.



**Figura 20** Pianta con applicazione domotica

### 5.5 Posizionamento dei dispositivi all'interno e all'esterno degli ambienti

L'efficacia degli interventi di efficientamento ipotizzati negli scenari di simulazione energetica, nonché la puntualità e l'efficienza nell'attuazione di operazioni correttive dovute alla peculiarità di utilizzo degli ambienti studiati dipendono fortemente dalla qualità dei dati provenienti dai sensori utilizzati per il monitoraggio delle condizioni ambientali. Conseguentemente oltreché sulla tipologia e l'accuratezza dei sensori scelti, l'attenzione va posta su un adeguato posizionamento spaziale degli stessi. Nelle figure 21, 22, 23 e 24 sono evidenziate le posizioni specifiche dei singoli sensori come concordato con i tecnici della casa produttrice.

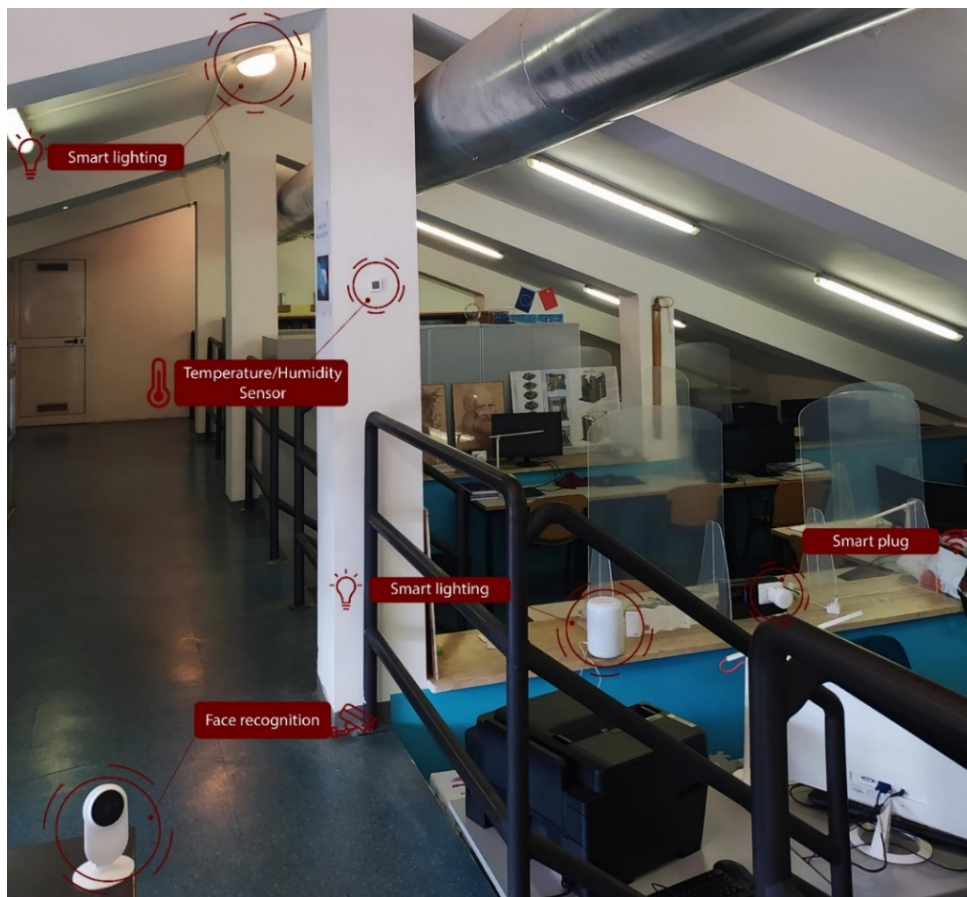


Figura 21. Installazione dei dispositivi all'interno dello SmartLab

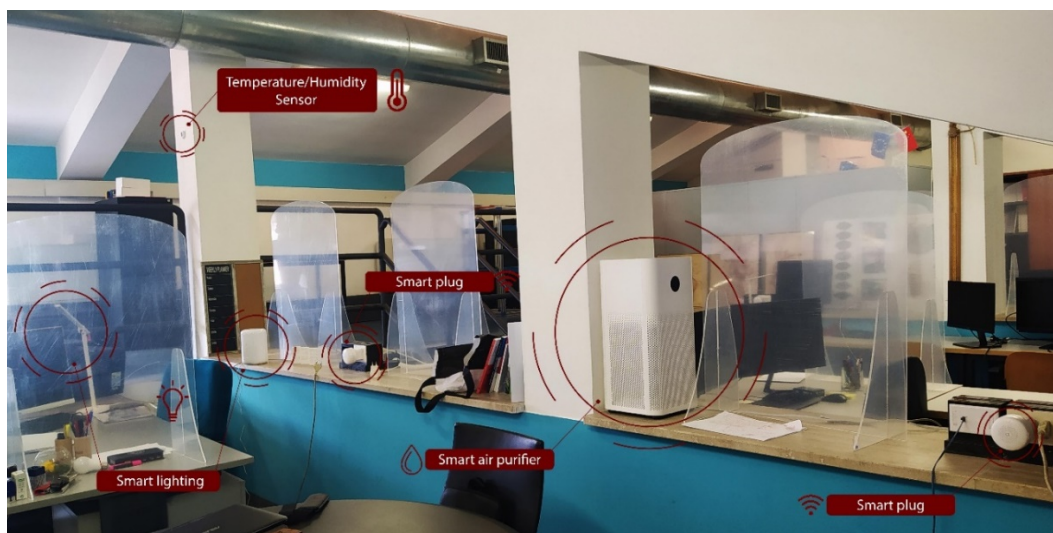


Figura 22. Installazione dei dispositivi all'interno dello SmartLab





Figura 23. Sensori di apertura porte e finestre e dispositivi di sicurezza



Figura 24. Sensori di apertura porte e finestre e dispositivi di sicurezza




## 6 Componenti e prestazioni dell'impianto fotovoltaico e sistema di ricarica elettrica dei veicoli

Nell'ambito del progetto di "greening" ed innovazione tecnologica della sede storica di Valle Giulia in occasione del centenario della Facoltà di Architettura dell'Università Sapienza di Roma, per la linea di ricerca proposta, è stata realizzata una microgrid energetica schematizzata in Figura 25 e composta dalle seguenti realizzazioni impiantistiche:

- impianto di produzione di energia da fonte fotovoltaica per la produzione di energia elettrica con sistema di Energy Storage;
- installazione di un sistema di ricarica per la mobilità elettrica. L'area interessata è al di sotto della scala antincendio che permette l'accesso al CITERA.
- realizzazione di uno Smart Lab, dimostratore di avanzate tecnologie per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile e per la gestione domotica degli impianti e delle apparecchiature.

Legenda:

 Superficie di appoggio per i pannelli fotovoltaici

 Colonnina di ricarica

 Centro CITERA

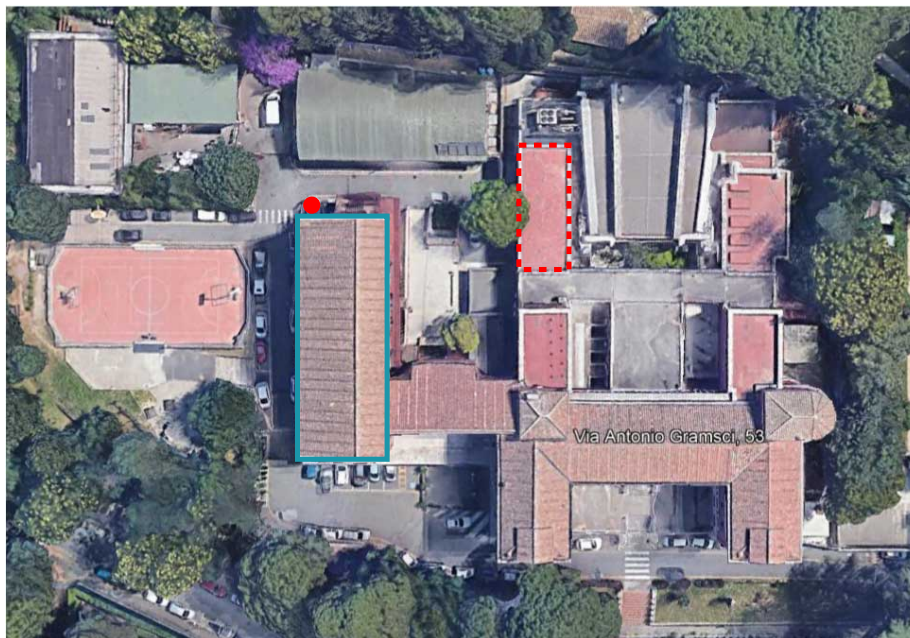


Figura 25. Vista satellitare della planimetria del luogo (Fonte: Google Earth)

La colonnina di ricarica per veicoli elettrici collegata al sistema è del tipo ENEL "quick" da 22 KW integrata con funzionalità tecnologiche quali bluetooth, wifi e NFC per integrazione nella microgrid del sistema.

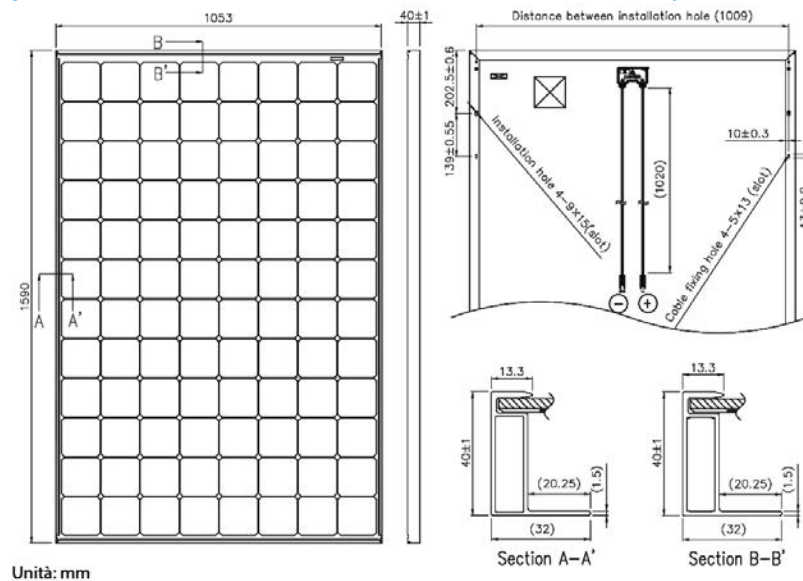
### 6.1 Connessione con la rete esistente (scambio sul posto)

Una volta completata la fase operativa della progettazione occorre richiedere all'ente gestore della Rete il punto di connessione. La connessione dell'impianto fotovoltaico alla rete elettrica dell'ente gestore deve

essere richiesta ad opera del Soggetto Responsabile dell'impianto fotovoltaico, o da un suo delegato, presentando la domanda al distributore di rete che si occuperà di realizzare i lavori per connettere in immissione l'impianto fotovoltaico alla rete elettrica. L'ente distributore farà ciò previo il pagamento di un corrispettivo da parte del soggetto responsabile dell'impianto di produzione. L'ente titolato ad effettuare la connessione è, per la gran parte dei casi in Italia, Enel Distribuzione.

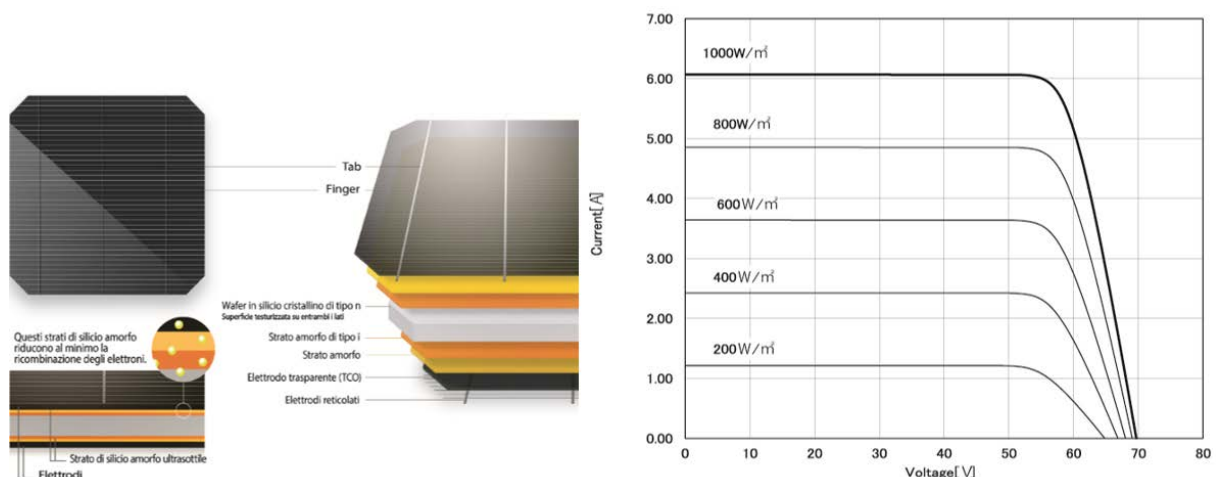
È possibile recuperare l'energia prodotta in eccesso immettendola in rete e, tramite accordi con il gestore della rete, è possibile essere rimborsati dell'energia prodotta e non consumata. Oggi, grazie alla convenzione GSE "Scambio Sul Posto" è più semplice adottare questa tecnica.

## 6.2 Tecnologia fotovoltaica utilizzata (Panasonic Hit da 330 Wp)



**Figura 26. Pannello Panasonic Hit da 330 Wp**

Per la composizione del campo fotovoltaico è stata scelta la tecnologia basata su celle ad eterogiunzione di Panasonic descritta in Figura 26, che ha realizzato pannelli bifacciali, impiegando strati ultrasottili di silicio amorfo che riducono le perdite, garantendo così una maggiore erogazione di energia rispetto ai pannelli tradizionali. Il modulo è caratterizzato da un'alta efficienza (19,7%) e da un miglior coefficiente di temperatura. Il coefficiente di temperatura di  $-0,258\%/^{\circ}\text{C}$  consente una resa elevata del modulo HIT anche con temperature in aumento. Ciò si traduce in maggiore energia durante tutto il giorno e in particolare in estate come riportato in Figura 25.



**Figura 27. Dipendenza dall'irraggiamento della produttività delle celle "tipo n" (T 25°C)**

Le celle "di tipo n" che compongono il modulo HIT riducono notevolmente la degradazione indotta dalla luce (LID) ed eliminano totalmente la degradazione indotta da potenziale (PID), aumentando così affidabilità e durata. Questa tecnologia riduce la degradazione annuale, garantendo maggiore energia sul lungo termine.

Il sistema di scarico dell'acqua consente di eliminare la pioggia e la neve sciolta, riducendo così le macchie d'acqua e l'imbrattamento del pannello. Inoltre, la cornice è da 40 millimetri, rendendo così il pannello più resistente a carichi di vento e neve fino a 5.400 Pa.

### 6.3 Descrizione dell'inverter trifase



Figura 28. Inverter Fronius Symo 3.7-3-M da 7 kW di picco

L'inverter scelto e mostrato in Figura 28 è dotato di connessione a Internet di serie mediante WLAN o Ethernet, che ne permette la comunicazione da remoto con il sistema. La serie Symo integra già le funzioni avanzate di controllo delle future reti "Smart Grid" con la gestione della potenza reattiva e riduzione della potenza attiva. La flessibilità di configurazione è garantita dalla presenza al suo interno dei due inseguitori MPP e dalla tensione in ingresso di 1000 V e le curve di funzionamento sono riportate nei grafici di seguito riportati.

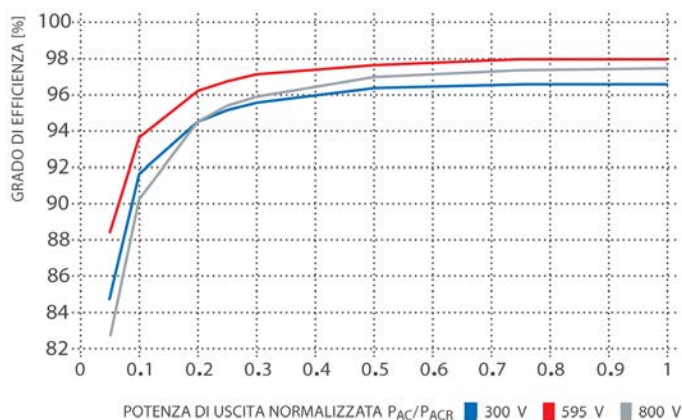
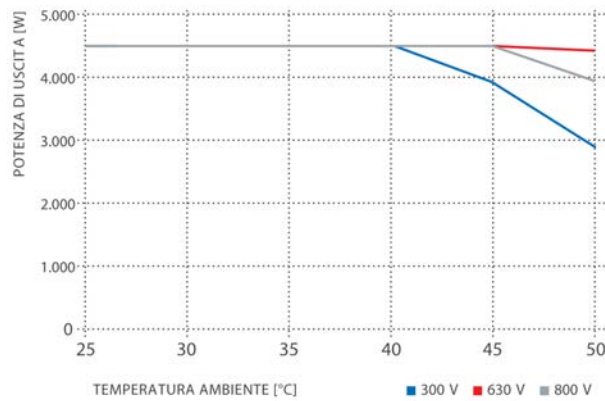


Grafico 1. Fronius symo 4.5-3-M curva del grado di efficienza



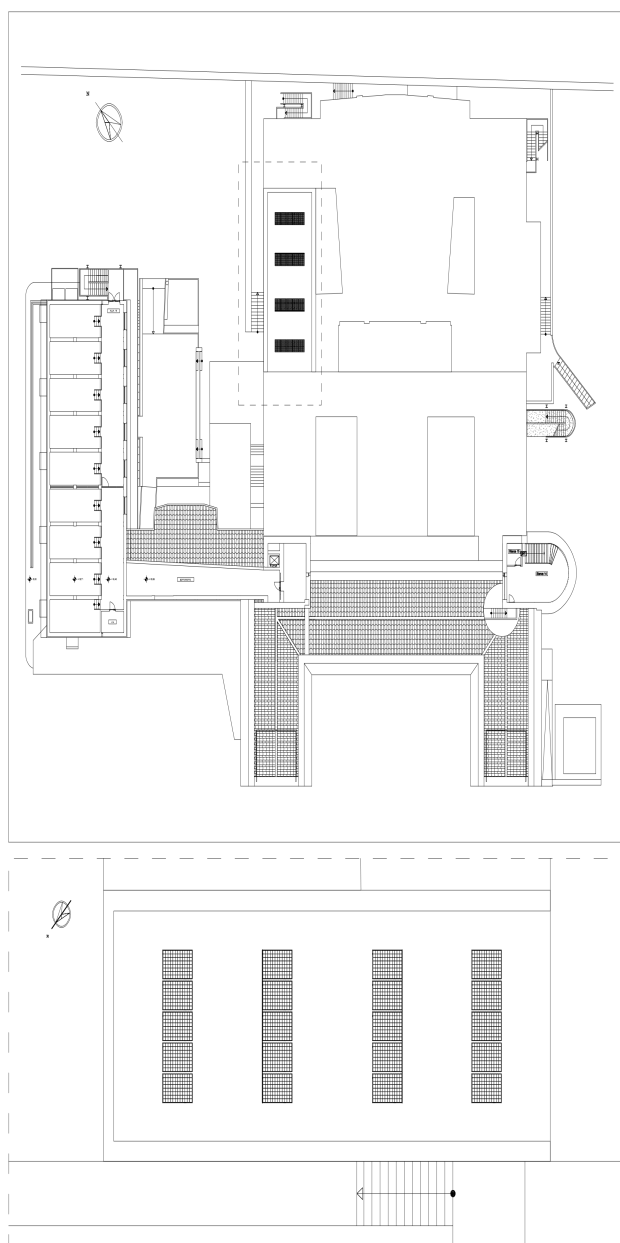
**Grafico 2. Fronius symo 4.5-3-M Derating Temperatura**

#### 6.4 Descrizione sistema di accumulo

Il sistema di accumulo realizzato, essenzialmente per fini dimostrativi (riportato in Figura 29) data la presenza della rete elettrica nazionale all'interno degli edifici, è realizzato con modelli a 48V, ottimali per la massimizzazione dell'autoconsumo. Il sistema BMS integrato del gruppo batterie monitora il funzionamento della batteria e impedisce il funzionamento oltre i limiti di progettazione. Il sistema dialoga con il dispositivo di carica/scarica così da ottimizzarne il comportamento e allungarne il tempo di vita. Il BMS è facilmente aggiornabile tramite scheda SD Card, così da poter implementare i futuri miglioramenti. Si possono installare fino a 2 batterie RESU sullo stesso dispositivo di carica e viste le 3 taglie di batterie si potrebbero avere 5 livelli di capacità diversa dai 3,3 fino ai 19,6 kWh. In Figura 30 infine viene riportato l'intero lay-out del sistema di produzione fotovoltaica.



**Figura 29. Batteria di accumulo da 5,9 kWh di energia utile**



**Figura 30. Inserimento planimetrico dell'impianto fotovoltaico**

### **6.5 Foto e video riprese aeree dei pannelli fotovoltaici e colonnina di ricarica**

Il report fotografico nelle Figure da 31 a 35 riassume le principali componenti installate che fanno parte della smart grid che durante l'ultimo anno di attività sarà oggetto di sperimentazione attraverso la sua gestione con un sistema appositamente progettato di machine learning.





**Figura 31. Foto aerea con drone – Video ripresa aerea**



**Figura 32. Foto aerea con drone – Video ripresa aerea**





Figura 33. Colonnina di ricarica





Figura 34. Inverter



Figura 35. Visione dell'insieme della SmartGrid



## 7 Conclusioni

Le principali linee progettuali da seguire per la corretta progettazione di uno smart lab gestito da un sistema di algoritmi basati su Intelligenza Artificiale riguardano principalmente quattro fasi successive.

La prima è inerente alla distribuzione e riguarda i parametri spaziali e geometrici, oltreché i reali spazi fisici dove disporre i dispositivi e i relativi accessori; in questa fase è molto importante operare su un lay-out operativo flessibile.

La seconda fase riguarda la problematica della interoperabilità fra piattaforme sistemi e linguaggi (Middleware) dove l'architettura del sistema deve stabilire un opportuno modello condiviso per la raccolta dati dalle diverse fonti (sensori, inverter, contatori smart, etc).

La terza fase riguarda l'implementazione di sistemi smart che devono essere aggiornati e incrementati nel tempo ed essere sempre adeguati alle mutanti funzionalità richieste dalle nuove condizioni operative e/o dalle nuove tecnologie emergenti.

Infine, la quarta fase riguarda la corretta e adeguata installazione delle infrastrutture di connessione, quali principalmente le linee di alimentazione elettrica (che deve raggiungere ogni singolo sensore che abbia necessità di alimentazione) ed ovviamente la connessione di rete (sia via cavo che Wi-Fi)

L'Internet of Things si rivela dunque il paradigma per la raccolta di dati e informazioni nei *context-aware system*. Infatti, è proprio sulla base dell'analisi dei dati da sensori che gli ambienti del laboratorio si adattano alle esigenze dell'utente. Il sistema configurato può monitorare il flusso di presenze negli spazi, le variazioni di temperatura e di umidità, così come può gestire in maniera efficiente i consumi energetici grazie alla "consapevolezza del contesto" derivante da analisi sempre più aggiornate provenienti dai sensori e così via.

L'integrazione di tali sistemi con algoritmi di Intelligenza Artificiale, che siano in grado di elaborare dati e attuare precise strategie in base alle analisi effettuate, rappresenta lo sviluppo futuro principale della tecnologia in esame, così da configurare sistemi di autoapprendimento che costituiscano un vero e proprio Digital Twin del contesto, tramite cui simulare e prevedere gli effetti delle implementazioni. Il modello digitale infatti raccoglie l'insieme di dati che restituisce uno specchio virtuale della realtà, sfruttando i dispositivi IoT installati, raccogliendo informazioni operative e ambientali, elaborabili con tecniche analitiche e simulazioni basate su algoritmi.

Il prosieguo della ricerca sarà conseguentemente finalizzato alla traduzione pratica e operativa dei concetti sopra esposti attraverso la messa in opera di un sistema dedicato di machine learning per la gestione della smart grid energetica realizzata durante il presente anno di attività.

## 8 Allegati e analisi di dettaglio

### 8.1 Allegato 1 – Impianto Fotovoltaico

#### 8.1.1 Impianto fotovoltaico connesso alla rete elettrica di distribuzione potenza 6.600 kW

Con la realizzazione dell'impianto fotovoltaico si intende conseguire un significativo risparmio energetico per la struttura servita, mediante il ricorso alla fonte energetica rinnovabile rappresentata dal Sole. Il ricorso a tale tecnologia nasce dall'esigenza di coniugare:

- la compatibilità con esigenze architettoniche e di tutela ambientale;
- nessun inquinamento acustico;
- un risparmio di combustibile fossile;
- una produzione di energia elettrica senza emissioni di sostanze inquinanti.

#### 8.1.2 Attenzione per l'ambiente

Ad oggi, la produzione di energia elettrica è per la quasi totalità proveniente da impianti termoelettrici che utilizzano combustibili sostanzialmente di origine fossile. Quindi, considerando l'energia stimata come produzione del primo anno, 8.622,67 kWh, e la perdita di efficienza annuale, 0.90 %, le considerazioni successive valgono per il tempo di vita dell'impianto pari a 20 anni.

#### 8.1.3 Risparmio sul combustibile

Un utile indicatore per definire il risparmio di combustibile derivante dall'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili è il fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria [tep/MWh].

Questo coefficiente individua le tep (tonnellate equivalenti di petrolio) necessarie per la realizzazione di 1 MWh di energia, ovvero le tep risparmiate con l'adozione di tecnologie fotovoltaiche per la produzione di energia elettrica.

Risparmio di combustibile	tep
Fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria [tep/MWh]	0,187
tep risparmiate in un anno	1,61
tep risparmiate in 20 anni	29,63

**Tabella 3 Fonte dati: Delibera EEN 3/08, art 2**

#### 8.1.4 Emissione evitate in atmosfera

Inoltre, l'impianto fotovoltaico consente la riduzione di emissioni in atmosfera delle sostanze che hanno effetto inquinante e di quelle che contribuiscono all'effetto serra.

Emissioni evitate in atmosfera	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Polveri
Emissioni specifiche in atmosfera [g/kWh]	474,0	0,373	0,427	0,014
Emissioni evitate in un anno [kg]	4 087,15	3,22	3,68	0,12
Emissioni evitate in 20 anni [kg]	75 117,27	59,11	67,67	2,22

**Tabella 4. Emissione evitate in atmosfera - Fonte dati: Rapporto ambientale ENEL 2013**

#### 8.1.5 Sito di installazione

Il dimensionamento energetico dell'impianto fotovoltaico connesso alla rete del distributore è stato effettuato tenendo conto, oltre che della disponibilità economica, di:

- disponibilità di spazi sui quali installare l'impianto fotovoltaico;
- disponibilità della fonte solare;
- fattori morfologici e ambientali (ombreggiamento e riflettanza).

### 8.1.5.1 Disponibilità della fonte solare

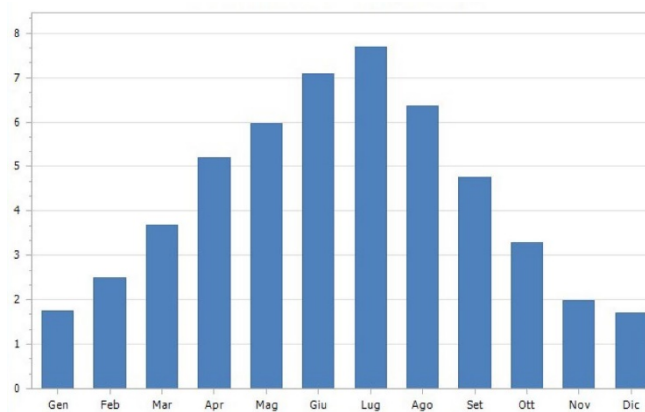
### 8.1.5.2 Irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale

La disponibilità della fonte solare per il sito di installazione è verificata utilizzando i dati "UNI 10349:2016 - Stazione di rilevazione: Roma" relativi a valori giornalieri medi mensili della irradiazione solare sul piano orizzontale.

Per la località sede dell'intervento, ovvero il comune di ROMA (RM) avente latitudine 41°.9075 N, longitudine 12°.4900 E e altitudine di 20 m. s.l.m., i valori giornalieri medi mensili dell'irradiazione solare sul piano orizzontale stimati sono pari a:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1,75	2,50	3,69	5,19	5,97	7,08	7,69	6,36	4,75	3,28	1,97	1,69

**Tabella 5. Irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale [kWh/m<sup>2</sup>] - Fonte dati: UNI 10349:2016 - Stazione di rilevazione: Roma**



**Grafico 3. Irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale [kWh/m<sup>2</sup>] - Fonte dati: UNI 10349:2016**

Quindi, i valori della irradiazione solare annua sul piano orizzontale sono pari a **1583,03 kWh/m<sup>2</sup>** (Fonte dati: UNI 10349:2016 - Stazione di rilevazione: Roma).

### 8.1.5.3 Ombreggiamento

Gli effetti di schermatura da parte di volumi all'orizzonte, dovuti ad elementi naturali (rilievi, alberi) o artificiali (edifici), determinano la riduzione degli apporti solari e il tempo di ritorno dell'investimento.

Il Coefficiente di Ombreggiamento, funzione della morfologia del luogo, è pari a **1,00**. Nel grafico 4 è riportato il diagramma solare per il comune di Roma:



**Grafico 4. Diagramma solare**

### 8.1.5.4 Riflettanza

La riflettanza media annua è pari a **0,20**.

Per tener conto del plus di radiazione dovuta alla riflettanza delle superfici della zona in cui è inserito l'impianto, si sono stimati i valori medi mensili, considerando anche i valori presenti nella norma UNI 10349.

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

**Tabella 6. Valori di riflettanza media mensile**

### 8.1.6 Procedure di calcolo

#### 8.1.6.1 Criterio generale di progetto

Il principio progettuale normalmente utilizzato per un impianto fotovoltaico è quello di massimizzare la captazione della radiazione solare annua disponibile.

Nella generalità dei casi, il generatore fotovoltaico deve essere esposto alla luce solare in modo ottimale, scegliendo prioritariamente l'orientamento a Sud ed evitando fenomeni di ombreggiamento. In funzione degli eventuali vincoli architettonici della struttura che ospita il generatore stesso, sono comunque adottati orientamenti diversi e sono ammessi fenomeni di ombreggiamento, purché adeguatamente valutati. Perdite d'energia dovute a tali fenomeni incidono sul costo del kWh prodotto e sul tempo di ritorno dell'investimento.

Dal punto di vista dell'inserimento architettonico, nel caso di applicazioni su coperture a falda, la scelta dell'orientazione e dell'inclinazione va effettuata tenendo conto che è generalmente opportuno mantenere il piano dei moduli parallelo o addirittura complanare a quello della falda stessa. Ciò in modo da non alterare la sagoma dell'edificio e non aumentare l'azione del vento sui moduli stessi. In questo caso, è utile favorire la circolazione d'aria fra la parte posteriore dei moduli e la superficie dell'edificio, al fine di limitare le perdite per temperatura.

#### 8.1.6.2 Criterio di stima dell'energia prodotta

L'energia generata dipende:

- dal sito di installazione (latitudine, radiazione solare disponibile, temperatura, riflettanza della superficie antistante i moduli);
- dall'esposizione dei moduli: angolo di inclinazione (Tilt) e angolo di orientazione (Azimut);
- da eventuali ombreggiamenti o insudiciamenti del generatore fotovoltaico;
- dalle caratteristiche dei moduli: potenza nominale, coefficiente di temperatura, perdite per disaccoppiamento o mismatch;
- dalle caratteristiche del BOS (Balance Of System).

Il valore del BOS può essere stimato direttamente oppure come complemento all'unità del totale delle perdite, calcolate mediante la seguente formula:

$$\text{Totale perdite [\%]} = [1 - (1 - a - b) \times (1 - c - d) \times (1 - e) \times (1 - f)] + g$$

per i seguenti valori:

- a) perdite per riflessione



- b) perdite per ombreggiamento
- c) perdite per mismatching
- d) perdite per effetto della temperatura
- e) perdite nei circuiti in continua
- f) perdite negli inverter
- g) perdite nei circuiti in alternata.

### 8.1.6.3 Criterio di verifica elettrica

In corrispondenza dei valori minimi della temperatura di lavoro dei moduli (-10 °C) e dei valori massimi di lavoro degli stessi (70 °C) sono verificate le seguenti disuguaglianze:

### 8.1.6.4 Tensioni MPPT

Tensione nel punto di massima potenza,  $V_m$ , a 70 °C maggiore o uguale alla Tensione MPPT minima ( $V_{mppt\ min}$ ).

Tensione nel punto di massima potenza,  $V_m$ , a -10 °C minore o uguale alla Tensione MPPT massima ( $V_{mppt\ max}$ ).

I valori di MPPT rappresentano i valori minimo e massimo della finestra di tensione utile per la ricerca del punto di funzionamento alla massima potenza.

**TENSIONE MASSIMA:** Tensione di circuito aperto,  $V_{oc}$ , a -10 °C minore o uguale alla tensione massima di ingresso dell'inverter.

**TENSIONE MASSIMA MODULO:** Tensione di circuito aperto,  $V_{oc}$ , a -10 °C minore o uguale alla tensione massima di sistema del modulo.

**CORRENTE MASSIMA:** Corrente massima (corto circuito) generata,  $I_{sc}$ , minore o uguale alla corrente massima di ingresso dell'inverter.

**DIMENSIONAMENTO:** Dimensionamento compreso tra il 70 % e il 120 %.

Per dimensionamento si intende il rapporto percentuale tra la potenza nominale dell'inverter e la potenza del generatore fotovoltaico a esso collegato (nel caso di sottoimpianti MPPT, il dimensionamento è verificato per il sottoimpianto MPPT nel suo insieme).

### 8.1.7 Dimensionamento dell'impianto

L'impianto fotovoltaico è di tipo grid-connected con allaccio alla rete pubblica trifase in bassa tensione.

Ha una potenza totale pari a 6,60 kW e una produzione di energia annua pari a 8 622,67 kWh (equivalente a 1 306,47 kWh/kW), derivante da 20 moduli che occupano una superficie di 38,88 m<sup>2</sup>, ed è composto da 1 inverter.

#### 8.1.7.1 Scheda tecnica dell'impianto

Dati generali	
Committente	Facoltà di Architettura
Indirizzo	Viale Antonio Gramsci 53
CAP Comune (Provincia)	00197 ROMA (RM)
Latitudine	41°.9075 N
Longitudine	12°.4900 E
Altitudine	20 m
Irradiazione solare annua sul piano orizzontale	1 583,03 kWh/m <sup>2</sup>
Coefficiente di ombreggiamento	1,00

Dati tecnici	
Superficie totale moduli	38,88 m <sup>2</sup>
Numero totale moduli	20
Numero totale inverter	1
Energia totale annua	8 622,67 kWh
Potenza totale	6,600 kW
Potenza fase L1	2,200 kW
Potenza fase L2	2,200 kW
Potenza fase L3	2,200 kW
Energia per kW	1 306,47 kWh/kW
Sistema di accumulo	Lato produzione monodirezionale in c.c.
Capacità di accumulo utile	5,90 kWh
BOS	74,97 %

### 8.1.7.2 Energia prodotta

L'energia totale annua prodotta dall'impianto è 8.622,67 kWh.

Nel grafico si riporta l'energia prodotta mensilmente:

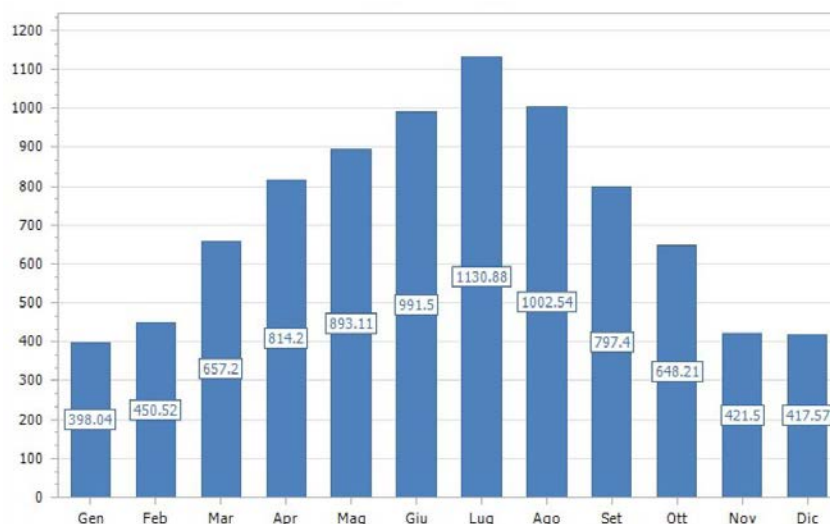


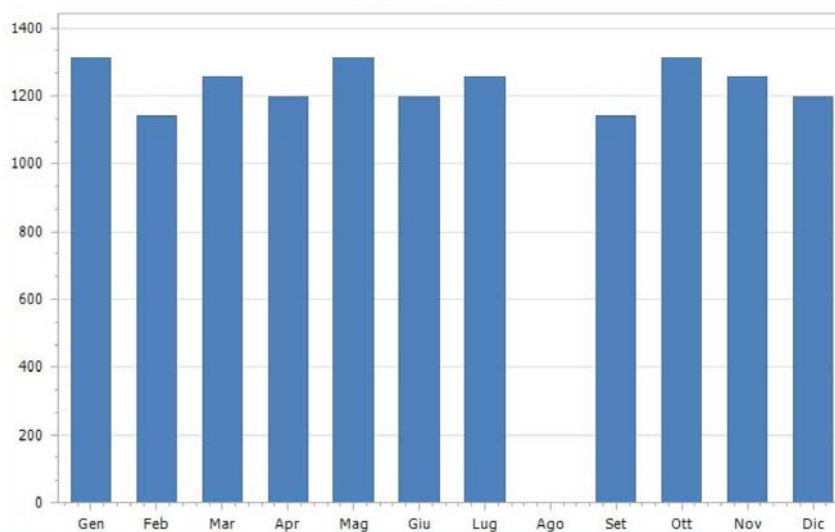
Grafico 5. Energia mensile prodotta dall'impianto

### 8.1.7.3 Consumo

Nella seguente tabella è riportato l'elenco dei dispositivi con la relativa stima del consumo annuo:

Descrizione	Consumo annuo [kWh]
Colonnina di ricarica veicoli elettrici	7 140,00
Smart Lab	3 808,00
Sala Dardi biblioteca	2 618,00

Tabella 7. Consumo annuo dei dispositivi installati



**Grafico 6. Consumo mensile di energia**

Il consumo totale annuo è **13 566,00 kWh**, il grafico successivo indica i consumi per ogni mese:

### 8.1.8 Generatore fotovoltaico

Dati generali	
Tipo connessione	Trifase
Potenza totale	6 600 kW
Energia totale annua	8622,67 kWh
Capacità accumulo utile totale in c.c.	5,90 kWh

Inverter	
Marca – Modello	Fronius International GmbH - Fronius Symo – SYMO 7.0-3-M
Tipo fase	Trifase
Dimensionamento inverter (compreso tra 70 % e 120 %)	106,06 % (VERIFICATO)
Potenza nominale	7 000 W
Numero inverter	1
Capacità di accumulo integrata	0.00 kWh

Configurazione inverter		
MPPT	Numero di moduli	Stringhe per modulo
1	10	1 x 10
2	10	1 x 10

#### 8.1.8.1 Verifiche elettriche MPPT1

In corrispondenza dei valori minimi della temperatura di lavoro dei moduli (-10 °C) e dei valori massimi di lavoro degli stessi (70 °C) sono verificate le seguenti disuguaglianze:

TENSIONI MPPT	
Vm a 70 °C (306.39 V) maggiore di Vmppt min. (228,00 V)	VERIFICATO
Vm a -10 °C (428.36 V) minore di Vmppt max. (800,00 V)	VERIFICATO
TENSIONE MASSIMA	
Voc a -10 °C (515.36 V) inferiore alla tensione max. dell'ingresso MPPT (1 000,00 V)	VERIFICATO
TENSIONE MASSIMA MODULO	
Voc a -10 °C (515.36 V) inferiore alla tensione max. di sistema del modulo (1 000,00 V)	VERIFICATO
CORRENTE MASSIMA	
Corrente max. generata (9.38 A) inferiore alla corrente max. dell'ingresso MPPT (16,00 A)	VERIFICATO

### 8.1.8.2 Verifiche elettriche MPPT2

In corrispondenza dei valori minimi della temperatura di lavoro dei moduli (-10 °C) e dei valori massimi di lavoro degli stessi (70 °C) sono verificate le seguenti disuguaglianze:

TENSIONI MPPT	
Vm a 70 °C (306.39 V) maggiore di Vmppt min. (228,00 V)	VERIFICATO
Vm a -10 °C (428.36 V) minore di Vmppt max. (800,00 V)	VERIFICATO
TENSIONE MASSIMA	
Voc a -10 °C (515.36 V) inferiore alla tensione max. dell'ingresso MPPT (1 000,00 V)	VERIFICATO
TENSIONE MASSIMA MODULO	
Voc a -10 °C (515.36 V) inferiore alla tensione max. di sistema del modulo (1 000,00 V)	VERIFICATO
CORRENTE MASSIMA	
Corrente max. generata (9.38 A) inferiore alla corrente max. dell'ingresso MPPT (16,00 A)	VERIFICATO

### 8.1.8.3 Sistema di accumulo

Il sistema di accumulo esterno utilizzato permette di immagazzinare l'energia prodotta in eccesso dall'impianto per riutilizzarla nei momenti in cui l'impianto non produce energia.

Accumulatore	
Marca	LG Chem
Modello	RESU6.5
Serie	RESU
Tipologia	Litio
Capacità nominale	6,5 kWh
Capacità utile	5,9 kWh

### 8.1.8.4 Campo fotovoltaico

Il campo fotovoltaico ha una potenza pari a **6.600 kW** ed una produzione di energia annua pari a **8 622,67 kWh**, derivante da 20 moduli con una superficie totale dei moduli di 38.88 m<sup>2</sup>.

Il generatore ha una connessione trifase.

### 8.1.8.5 Scheda tecnica dell'impianto

Dati generali	
Posizionamento dei moduli	Non complanare alle superfici
Struttura di sostegno	Fissa
Inclinazione dei moduli (Tilt)	30°
Orientazione dei moduli (Azimut)	30°
Irradiazione solare annua sul piano dei moduli	1 750,37 kWh/m <sup>2</sup>
Potenza totale	6 600,00 kW
Energia totale annua	8 622,67 kWh
Modulo	
Marca - Modello	Panasonic Life Solutions India Pvt Ltd - AE7P320-330WVB5B - AE7P330VB5B
Numero totale moduli	20
Superficie totale moduli	38,88 m <sup>2</sup>

### 8.1.9 Schema elettrico

Il dispositivo di interfaccia è esterno ai convertitori ed è costituito da un contattore. La norma di riferimento per il dimensionamento dei cavi è la CEI UNEL 35024 - 35026.

#### 8.1.9.1 Cavi

Descrizione	Designazione	Sezione (mm <sup>2</sup> )	Lung. (m)	Risultati		
				Corrente (A)	Portata (A)	Caduta di tensione (%)
Rete - Quadro generale	FG7R 0,6/1 kV	4,0	1,00	9,53	35,00	0,03
Quadro generale - Quadro fotovoltaico	FG7R 0,6/1 kV	4,0	1,00	9,53	35,00	0,03
Quadro fotovoltaico - Inverter	FG7R 0,6/1 kV	4,0	1,00	9,53	35,00	0,03
Inverter - MPPT 1		6,0	1,00	8,81	38,00	0,02
Inverter - S	H1Z2Z2-K	4,0	1,00	8,81	42,00	0,03
Inverter - MPPT 2		6,0	1,00	8,81	38,00	0,02
Inverter - S	H1Z2Z2-K	4,0	1,00	8,81	42,00	0,03

#### 8.1.9.2 Quadri

Quadro generale	
SPD uscita presente	
<i>Protezione sugli ingressi</i>	
Ingresso	Dispositivo
Quadro fotovoltaico	Interruttore magnetotermico

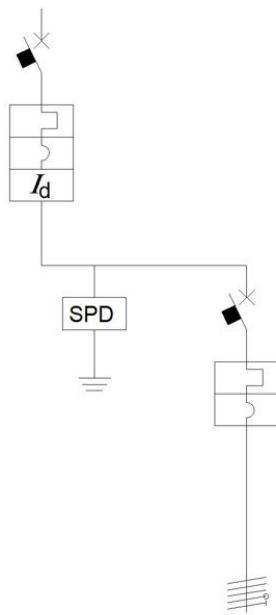


Figura 36. Schema unifilare "Quadro generale"

Quadro fotovoltaico	
SPD uscita presente	
<i>Protezione sugli ingressi</i>	
Ingresso	Dispositivo
Inverter	N.P.

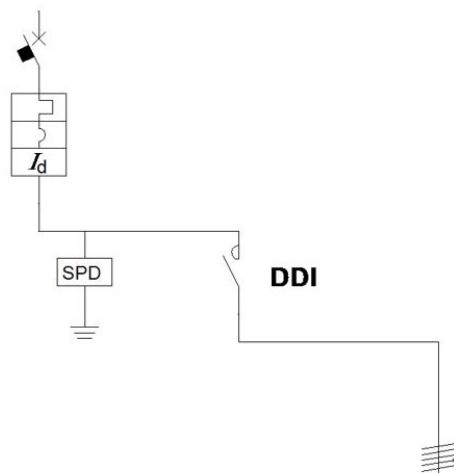


Figura 37. Schema unifilare "Quadro fotovoltaico"



### 8.1.9.3 Schema unifilare

La figura 34 riporta lo schema unifilare dell'impianto, in cui sono messi in evidenza i sottosistemi e le apparecchiature che ne fanno parte.

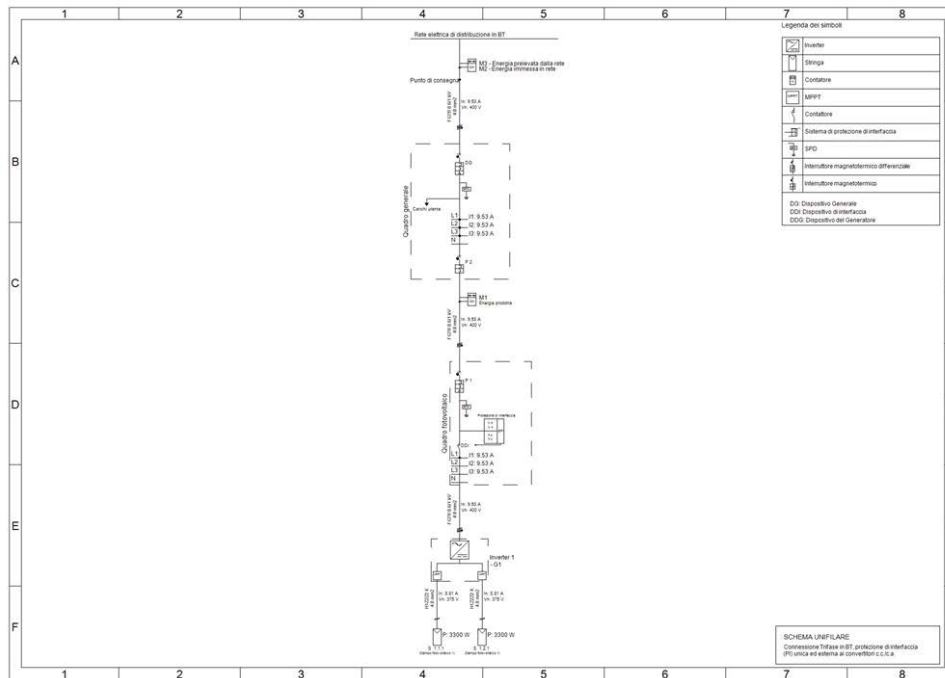


Figura 38. Schema elettrico unifilare dell'impianto

Riepilogo potenze per fase			
Generatore / sottoimpianto	L1	L2	L3
Inverter	2,200 kW	2,200 kW	2,200 kW
<b>Totale</b>	<b>2,200 kW</b>	<b>2,200 kW</b>	<b>2,200 kW</b>

La differenza fra la potenza installata sulla fase con più generazione e quella con meno generazione risulta pari a: 0,000 kW.

### 8.1.10 Dati acquisto energia

Potenza impegnata	<b>100,00 kW</b>
Tariffa acquisto energia	<b>BTB1 - Trioraria / Marzo 2020</b>

#### 8.1.10.1 Tariffa acquisto energia BTB1 – Trioraria / Marzo 2020

La tariffa elettrica di acquisto è costituita da diverse componenti.

- **Componente energia:** rappresenta il prezzo dell'energia PE e il prezzo commercializzazione e vendita (TIV, Testo integrato vendita)
- **Componente dispacciamento:** rappresenta il corrispettivo per il dispacciamento dell'energia elettrica.
- **Componente PCV:** rappresenta il corrispettivo a copertura dei costi di commercializzazione legati al servizio di vendita di energia elettrica.
- **Componente trasporto:** è costituita dai servizi di trasmissione, distribuzione e misura (installazione e manutenzione dei misuratori, raccolta, validazione e registrazione delle misure dell'energia elettrica).

- **Componente A:** copre gli oneri sostenuti nell'interesse generale del sistema elettrico quali, ad esempio, i costi di ricerca, i costi per l'incentivazione dell'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, etc.
- **Componente UC:** copre ulteriori elementi di costo del servizio elettrico (quali, ad esempio, la perequazione).
- **Componente MCT:** è la componente tariffaria per il finanziamento delle misure di compensazione territoriale di cui all'articolo 4, comma 1-bis, della legge n. 368/03.

<b>Dati generali</b>	
Nome tariffa	<b>BTB1 - Trioraria / Marzo 2020</b>
Descrizione	<b>Tariffa applicata ai contratti di altre utenze in BT con potenza disponibile superiore a 16,5 kW</b>
Tipo di utenza	<b>Altri usi - BT</b>
Regime	<b>Maggior Tutela</b>
Potenza impegnata	<b>Maggiore di 16,50 kW</b>
Tipo tariffazione	<b>Trioraria</b>
Fasce orarie	<b>AEEG 181/06 - Trioraria</b>
Accise	<b>0,01250 €/kWh</b>
Addizionale Enti locali	<b>0,00000 €/kWh</b>
IVA	<b>22,0 %</b>

<b>Componente energia</b>	
Quota fissa [€]	<b>0,00000</b>
Quota potenza [€/kW]	<b>0,00000</b>
Quota energia [€/kWh]	
Tariffa F1	<b>0,07354</b>
Tariffa F2	<b>0,07447</b>
Tariffa F3	<b>0,05966</b>

<b>Componente dispacciamento</b>	
Quota fissa [€]	<b>-2,67200</b>
Quota potenza [€/kW]	<b>0,00000</b>
Quota energia [€/kWh]	<b>0,00059</b>

<b>Componente PCV</b>	
Quota fissa [€]	<b>125,64260</b>
Quota potenza [€/kW]	<b>0,00000</b>
Quota energia [€/kWh]	<b>0,00000</b>

<b>Componente trasporto</b>	
Quota fissa [€]	<b>24,73470</b>
Quota potenza [€/kW]	<b>29,25010</b>
Quota energia [€/kWh]	<b>0,00761</b>

<b>Componente A</b>	
Quota fissa [€]	<b>25,98120</b>
Quota potenza [€/kW]	<b>30,72600</b>
Quota energia [€/kWh]	<b>0,04711</b>
<b>Componente UC</b>	
Quota fissa [€]	<b>0,00000</b>
Quota potenza [€/kW]	<b>0,00000</b>
Quota energia [€/kWh]	<b>0,00072</b>
<b>Componente MCT</b>	
Quota fissa [€]	<b>0,00000</b>
Quota potenza [€/kW]	<b>0,00000</b>
Quota energia [€/kWh]	<b>0,00000</b>
<b>Totale</b>	
Quota fissa [€]	<b>173,68650</b>
Quota potenza [€/kW]	<b>59,97610</b>
Quota energia [€/kWh]	
Tariffa F1	<b>0,12957</b>
Tariffa F2	<b>0,13050</b>
Tariffa F3	<b>0,11569</b>
CUsf reti	<b>0,02056 €/KWh</b>
CUsf ogs	<b>0,04711 €/KWh</b>

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Lunedì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
Martedì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
Mercoledì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
Giovedì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
Venerdì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
Sabato	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
Domenica	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Tabella 8. Tabella delle fasce orarie (AEEG 181/06 – Trioraria)

Tariffa F1 ■ Tariffa F2 ■ Tariffa F3 ■

### 8.1.11 Dati cessione energetica elettrica

Metodo di calcolo C <sub>sub</sub> ei	Prezzi per fasce
Prezzi zionali	GSE 2019
Maggiorazione dell'energia elettrica immessa (perdite)	5,10 %

#### 8.1.11.1 Prezzi zionali GSE 2019

Località: ROMA (RM) - Zona Centro-Sud

	Prezzo F1 [€/kWh]	Prezzo F2 [€/kWh]	Prezzo F3 [€/kWh]
Gennaio	0,07010	0,06780	0,05662
Febbraio	0,05874	0,05699	0,05066
Marzo	0,05321	0,04844	0,04686
Aprile	0,05261	0,04834	0,04288
Maggio	0,04966	0,05193	0,04166
Giugno	0,05302	0,04676	0,04035
Luglio	0,05642	0,04881	0,04195
Agosto	0,04824	0,04606	0,04138
Settembre	0,05364	0,04537	0,04172
Ottobre	0,05355	0,04635	0,04027
Novembre	0,05292	0,05027	0,03970
Dicembre	0,04959	0,04531	0,03545

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Lunedì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Martedì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Mercoledì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Giovedì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Venerdì	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Sabato	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Domenica	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Tabella 9. Fasce orarie (AEEG 181/06 – Trioraria)

Tariffa F1 ■ Tariffa F2 ■ Tariffa F3 ■

### 8.1.12 Dati SEU

Dati generali	
Qualifica SEU	SSP-A
Descrizione	1, Il produttore e il cliente finale coincidono
Maggiorazione A3	0,00000 €
Tariffa di vendita dell'energia	---

### 8.1.13 Analisi dei costi

#### 8.1.13.1 Costo di realizzazione impianto

Il costo stimato per la realizzazione dell'impianto è di seguito elencato:

Descrizione	Importo
Costo lavori	€ 3 501,55
Altre spese	€ 0,00
Costo Totale	€ 3 501,55

### 8.1.13.2 Costi periodici e una tantum

I seguenti costi, periodici, si rendono necessari per un corretto esercizio dell'impianto:

Descrizione	Periodo	Durata	[%]	[€/kW]	[€]
Manutenzione	1	25	2,86	9,38	100,00
Assicurazione	1	25	22,85	75,05	800,00
Sostituzione inverter	8	25	63,13	207,35	2 210,37

Per il soggetto responsabile, *9,2 Persona fisica o ente non commerciale che, al di fuori dell'esercizio di attività di impresa, produce energia fotovoltaica in eccedenza rispetto ai consumi privati: impianti con potenza inferiore a 20 kW posti al servizio dell'abitazione o della sede dell'ente non commerciale*, si applica la Disciplina fiscale degli incentivi per gli impianti fotovoltaici presentata nella tabella seguente:

Imposte contributo in conto scambio	No
Ammortamento	No



### 8.1.14 Analisi Economica

Ai fini dell'analisi economica sono stati considerati i seguenti parametri di riferimento:

Tasso di inflazione annua dei costi	2,00 %
Tasso di inflazione annua delle tariffe energetiche	6,00 %
Tasso di attualizzazione	4,00 %
Aumento annuo dei consumi di energia	2,00 %
Perdita annua di efficienza dell'impianto	0,90 %

#### 8.1.14.1 Tabella budget annuale sintetica e completa

##### Budget annuale sintetica (\*)

Anno	1	2	3	4	5
Cassa Iniziale	-3 501,55	-2 643,72	-1 716,35	-715,25	363,89
Entrata - Uscite	857,83	927,37	1 001,10	1 079,14	1 161,77
Entrate	1 787,83	1 875,37	1 967,46	2 064,23	2 165,96
Contributo scambio sul posto	813,94	849,26	886,04	924,52	964,62
Risparmio bolletta	973,89	1 026,11	1 081,42	1 139,71	1 201,34
Uscite	930,00	948,00	966,36	985,09	1 004,19
Costi di esercizio	930,00	948,00	966,36	985,09	1 004,19
Imposte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cassa finale	-2 643,72	-1 716,35	-715,25	363,89	1 525,66

Anno	6	7	8	9	10
Cassa Iniziale	1 525,66	2 775,03	4 117,19	3 018,44	4 562,48
Entrata - Uscite	1 249,37	1 342,16	-1 098,75	1 544,04	1 653,71
Entrate	2 273,04	2 385,71	2 504,09	2 628,54	2 759,29
Contributo scambio sul posto	1 006,23	1 049,35	1 094,46	1 141,64	1 190,99
Risparmio bolletta	1 266,81	1 336,36	1 409,63	1 486,90	1 568,30
Uscite	1 023,67	1 043,55	3 602,84	1 084,50	1 105,58
Costi di esercizio	1 023,67	1 043,55	3 602,84	1 084,50	1 105,58
Imposte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cassa finale	2 775,03	4 117,19	3 018,44	4 562,48	6 216,19

Anno	11	12	13	14	15
Cassa Iniziale	6 216,19	7 985,79	9 878,03	11 900,05	14 058,84
Entrata - Uscite	1 769,60	1 892,24	2 022,02	2 158,79	2 303,39
Entrate	2 896,70	3 041,28	3 193,43	3 353,04	3 520,92
Contributo scambio sul posto	1 242,49	1 295,90	1 351,31	1 409,87	1 470,84
Risparmio bolletta	1 654,21	1 745,38	1 842,12	1 943,17	2 050,08
Uscite	1 127,10	1 149,04	1 171,41	1 194,25	1 217,53
Costi di esercizio	1 127,10	1 149,04	1 171,41	1 194,25	1 217,53
Imposte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cassa finale	7 985,79	9 878,03	11 900,05	14 058,84	16 362,23

Anno	16	17	18	19	20
Cassa Iniziale	16 362,23	15 843,61	18 460,79	21 247,64	24 213,47
Entrata - Uscite	-518,62	2 617,18	2 786,85	2 965,83	3 154,56
Entrate	3 697,53	3 882,69	4 077,06	4 281,25	4 495,69
Contributo scambio sul posto	1 534,09	1 601,47	1 672,67	1 747,39	1 826,10
Risparmio bolletta	2 163,44	2 281,22	2 404,39	2 533,86	2 669,59
Uscite	4 216,15	1 265,51	1 290,21	1 315,42	1 341,13
Costi di esercizio	4 216,15	1 265,51	1 290,21	1 315,42	1 341,13

Imposte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cassa finale	15 843,61	18 460,79	21 247,64	24 213,47	27 368,03

(\*) Gli importi del budget annuale sono espressi in euro [€]

### Budget annuale completa

Anno	1	2	3	4	5
<b>Energia (*)</b>					
Energia prodotta	12 658,82	12 544,89	12 432,00	12 320,08	12 209,21
Energia immessa	7 040,07	6 931,92	6 824,87	6 720,17	6 616,76
Energia consumata	5 618,75	5 612,96	5 607,13	5 599,92	5 592,45
Energia prelevata	7 947,25	8 224,36	8 506,94	8 796,39	9 091,86
Energia scambiata	7 040,07	6 931,92	6 824,87	6 720,17	6 616,76
<b>Consumi (*)</b>					
Consumo totale	13 566,00	13 837,32	14 114,07	14 396,31	14 684,31
Autoconsumo	5 618,75	5 612,96	5 607,13	5 599,92	5 592,45
Eterconsumo	7 947,25	8 224,36	8 506,94	8 796,39	9 091,86
<b>Budget annuale (**)</b>					
Ricavi totali	813,94	849,26	886,04	924,52	964,62
Contributo scambio sul posto	813,94	849,26	886,04	924,52	964,62
Quota energia	337,54	352,03	367,12	382,90	399,34
Onere energia O <sub>e</sub>	715,25	784,60	860,26	942,90	1 033,04
Valore energia C <sub>ei</sub>	337,54	352,03	367,12	382,90	399,34
Quota servizi	476,40	497,23	518,92	541,62	565,28
Contrib. residuo a credito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Risparmio bolletta	973,89	1 026,11	1 081,42	1 139,71	1 201,34
Risparmio su energia prelevata	973,89	1 026,11	1 081,42	1 139,71	1 201,34
Ogs su energia autoconsumata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costi di esercizio	930,00	948,00	966,36	985,09	1 004,19
Costi una tantum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costi periodici	900,00	918,00	936,36	955,09	974,19
Costi scambio sul posto	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Margine operativo lordo	857,83	927,37	1 001,10	1 079,14	1 161,77
Ammortamenti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Margine operativo netto	857,83	927,37	1 001,10	1 079,14	1 161,77
Risultato ante imposte	857,83	927,37	1 001,10	1 079,14	1 161,77
Totale imposte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utile netto	857,83	927,37	1 001,10	1 079,14	1 161,77
Flusso di cassa	857,83	927,37	1 001,10	1 079,14	1 161,77
Flusso di cassa cumulato	-2 643,72	-1 716,35	-715,25	363,89	1 525,66
VAN	-2 676,71	-1 819,31	-929,33	-6,88	948,01
TIR	-75,50%	-34,85%	-10,37%	3,92%	12,67%

Anno	6	7	8	9	10
<b>Energia (*)</b>					
Energia prodotta	12 099,35	11 990,43	11 882,50	11 775,58	11 669,60
Energia immessa	6 513,48	6 410,22	6 309,39	6 210,80	6 114,55
Energia consumata	5 585,87	5 580,21	5 573,11	5 564,77	5 555,05
Energia prelevata	9 392,16	9 697,27	10 010,01	10 329,96	10 657,61
Energia scambiata	6 513,48	6 410,22	6 309,39	6 210,80	6 114,55
<b>Consumi (*)</b>					
Consumo totale	14 978,03	15 277,48	15 583,12	15 894,73	16 212,66
Autoconsumo	5 585,87	5 580,21	5 573,11	5 564,77	5 555,05
Eteroconsumo	9 392,16	9 697,27	10 010,01	10 329,96	10 657,61
<b>Budget annuale (**)</b>					
Ricavi totali	1 006,23	1 049,35	1 094,46	1 141,64	1 190,99
Contributo scambio sul posto	1 006,23	1 049,35	1 094,46	1 141,64	1 190,99

Quota energia	416,38	434,03	452,48	471,77	491,93
Onere energia O\sub e	1 131,19	1 238,02	1 354,62	1 481,79	1 620,52
Valore energia C\sub ei	416,38	434,03	452,48	471,77	491,93
Quota servizi	589,85	615,32	641,98	669,87	699,06
Contrib, residuo a credito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Risparmio bolletta	1 266,81	1 336,36	1 409,63	1 486,90	1 568,30
Risparmio su energia prelevata	1 266,81	1 336,36	1 409,63	1 486,90	1 568,30
Ogs su energia autoconsumata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costi di esercizio	1 023,67	1 043,55	3 602,84	1 084,50	1 105,58
Costi una tantum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costi periodici	993,67	1 013,55	3 572,84	1 054,50	1 075,58
Costi scambio sul posto	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Margine operativo lordo	1 249,37	1 342,16	-1 098,75	1 544,04	1 653,71
Ammortamenti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Margine operativo netto	1 249,37	1 342,16	-1 098,75	1 544,04	1 653,71
Risultato ante imposte	1 249,37	1 342,16	-1 098,75	1 544,04	1 653,71
Totale imposte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utile netto	1 249,37	1 342,16	-1 098,75	1 544,04	1 653,71
Flusso di cassa	1 249,37	1 342,16	-1 098,75	1 544,04	1 653,71
Flusso di cassa cumulato	2 775,03	4 117,19	3 018,44	4 562,48	6 216,19
VAN	1 935,41	2 955,34	2 152,49	3 237,31	4 354,50
TIR	18,29%	22,05%	19,59%	22,38%	24,28%

Anno	11	12	13	14	15
<b>Energia (*)</b>					
Energia prodotta	11 564,58	11 460,48	11 357,36	11 255,14	11 153,83
Energia immessa	6 019,88	5 925,26	5 830,98	5 741,21	5 652,42
Energia consumata	5 544,71	5 535,22	5 526,38	5 513,92	5 501,41
Energia prelevata	10 992,17	11 332,34	11 678,57	12 035,12	12 398,67
Energia scambiata	6 019,88	5 925,26	5 830,98	5 741,21	5 652,42
<b>Consumi (*)</b>					
Consumo totale	16 536,88	16 867,56	17 204,95	17 549,05	17 900,08
Autoconsumo	5 544,71	5 535,22	5 526,38	5 513,92	5 501,41
Eterocomsumo	10 992,17	11 332,34	11 678,57	12 035,12	12 398,67
<b>Budget annuale (**)</b>					
Ricavi totali	1 242,49	1 295,90	1 351,31	1 409,87	1 470,84
Contributo scambio sul posto	1 242,49	1 295,90	1 351,31	1 409,87	1 470,84
Quota energia	512,96	534,75	557,33	581,21	606,05
Onere energia O\sub e	1 771,68	1 936,09	2 114,96	2 310,31	2 522,90
Valore energia C\sub ei	512,96	534,75	557,33	581,21	606,05
Quota servizi	729,53	761,15	793,98	828,66	864,79
Contrib, residuo a credito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Risparmio bolletta	1 654,21	1 745,38	1 842,12	1 943,17	2 050,08
Risparmio su energia prelevata	1 654,21	1 745,38	1 842,12	1 943,17	2 050,08
Ogs su energia autoconsumata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costi di esercizio	1 127,10	1 149,04	1 171,41	1 194,25	1 217,53
Costi una tantum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costi periodici	1 097,10	1 119,04	1 141,41	1 164,25	1 187,53
Costi scambio sul posto	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Margine operativo lordo	1 769,60	1 892,24	2 022,02	2 158,79	2 303,39
Ammortamenti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Margine operativo netto	1 769,60	1 892,24	2 022,02	2 158,79	2 303,39
Risultato ante imposte	1 769,60	1 892,24	2 022,02	2 158,79	2 303,39
Totale imposte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utile netto	1 769,60	1 892,24	2 022,02	2 158,79	2 303,39
Flusso di cassa	1 769,60	1 892,24	2 022,02	2 158,79	2 303,39
Flusso di cassa cumulato	7 985,79	9 878,03	11 900,05	14 058,84	16 362,23
VAN	5 504,00	6 685,89	7 900,26	9 146,91	10 425,90
TIR	25,64%	26,64%	27,39%	27,96%	28,39%

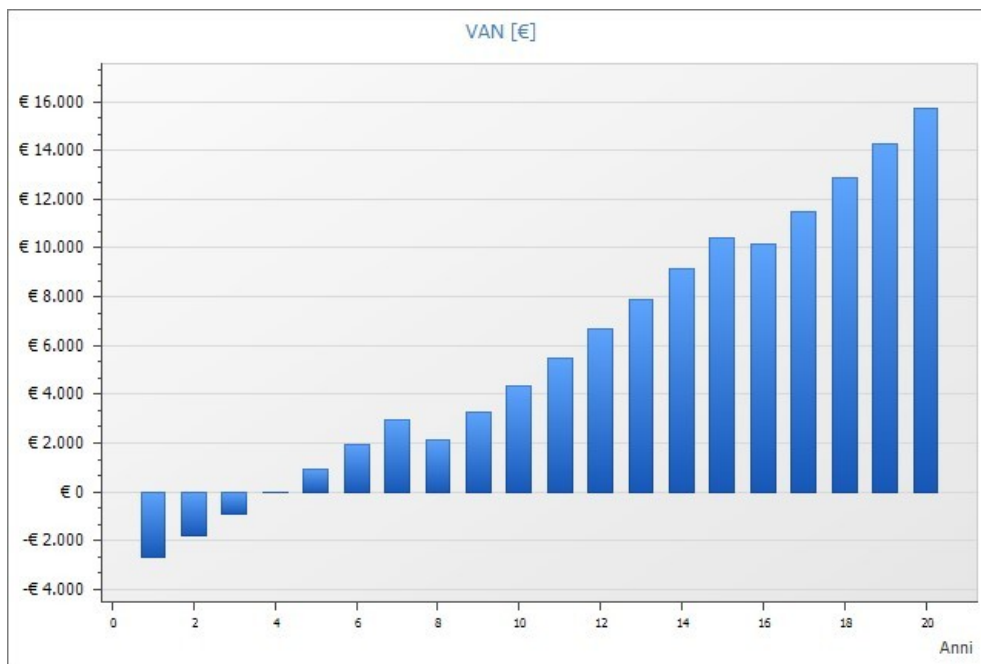
Anno	16	17	18	19	20
<b>Energia (*)</b>					
Energia prodotta	11 053,45	10 953,96	10 855,41	10 757,69	10 660,87
Energia immessa	5 563,73	5 481,00	5 402,17	5 325,48	5 251,63
Energia consumata	5 489,72	5 472,95	5 453,24	5 432,21	5 409,24
Energia prelevata	12 768,29	13 150,31	13 542,42	13 943,37	14 353,78
Energia scambiata	5 563,73	5 481,00	5 402,17	5 325,48	5 251,63
<b>Consumi (*)</b>					
Consumo totale	18 258,00	18 623,26	18 995,66	19 375,58	19 763,02
Autoconsumo	5 489,72	5 472,95	5 453,24	5 432,21	5 409,24
Eterocomsumo	12 768,29	13 150,31	13 542,42	13 943,37	14 353,78
<b>Budget annuale (**)</b>					
Ricavi totali	1 534,09	1 601,47	1 672,67	1 747,39	1 826,10
Contributo scambio sul posto	1 534,09	1 601,47	1 672,67	1 747,39	1 826,10
Quota energia	631,79	659,25	688,29	718,76	750,87
Onere energia O\sub e	2 753,99	3 006,58	3 282,00	3 581,92	3 908,59
Valore energia C\sub ei	631,79	659,25	688,29	718,76	750,87
Quota servizi	902,30	942,22	984,38	1 028,63	1 075,23
Contrib, residuo a credito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Risparmio bolletta	2 163,44	2 281,22	2 404,39	2 533,86	2 669,59
Risparmio su energia prelevata	2 163,44	2 281,22	2 404,39	2 533,86	2 669,59
Ogs su energia autoconsumata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costi di esercizio	4 216,15	1 265,51	1 290,21	1 315,42	1 341,13
Costi una tantum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costi periodici	4 186,15	1 235,51	1 260,21	1 285,42	1 311,13
Costi scambio sul posto	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Margine operativo lordo	-518,62	2 617,18	2 786,85	2 965,83	3 154,56
Ammortamenti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Margine operativo netto	-518,62	2 617,18	2 786,85	2 965,83	3 154,56
Risultato ante imposte	-518,62	2 617,18	2 786,85	2 965,83	3 154,56
Totale imposte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utile netto	-518,62	2 617,18	2 786,85	2 965,83	3 154,56
Flusso di cassa	-518,62	2 617,18	2 786,85	2 965,83	3 154,56
Flusso di cassa cumulato	15 843,61	18 460,79	21 247,64	24 213,47	27 368,03
VAN	10 149,00	11 492,59	12 868,26	14 275,97	15 715,67
TIR	28,32%	28,60%	28,83%	29,01%	29,15%

(\*) L'energia e i consumi sono espressi in kWh (\*\*) Gli importi del budget annuale sono espressi in €

### 8.1.15 Indicatori sintetici

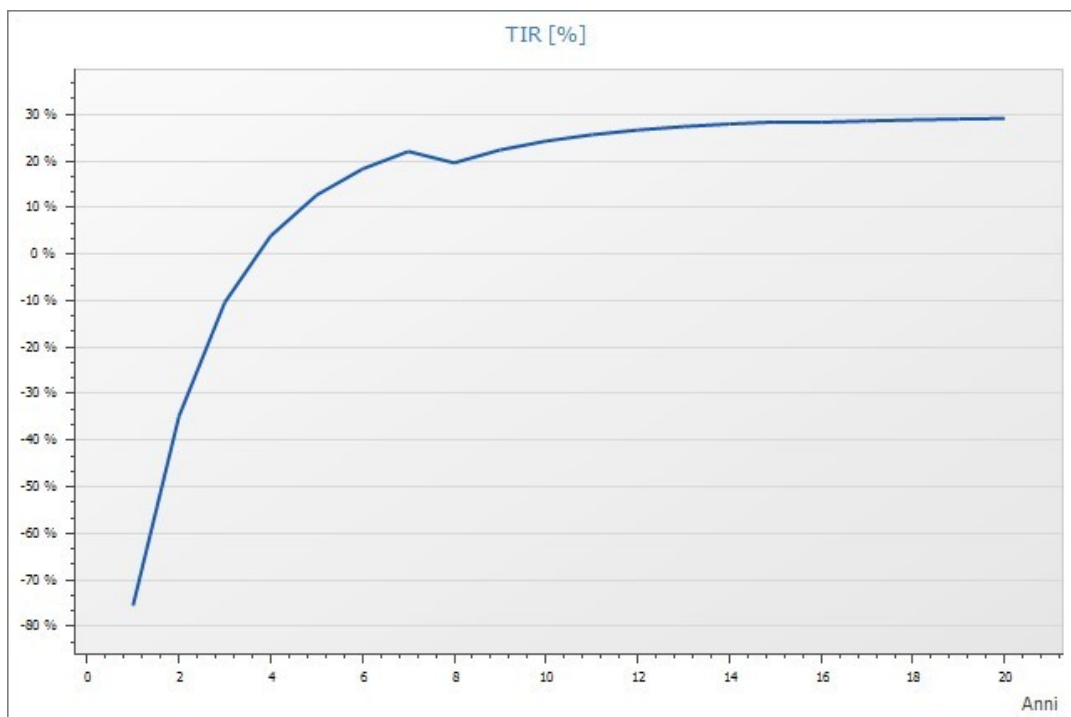
Payback period: Il numero di anni necessario per compensare l'investimento iniziale attraverso dei flussi annui positivi è **4**.

Il Valore Attuale Netto dei flussi di cassa futuri attualizzati, stimando una vita utile dell'impianto di 20 anni, è **€ 15.715,67**.



**Figura 39. Valore Attuale Netto dei flussi di cassa futuri analizzati**

Il tasso di rendimento interno, TIR, è il costo massimo dei mezzi finanziari che possono essere utilizzati, stimando una vita utile dell'impianto di 20 anni, è **29,15 %**.



**Figura 40. Tasso di Rendimento Interno**



### 8.1.15.1 Grafico entrate e uscite

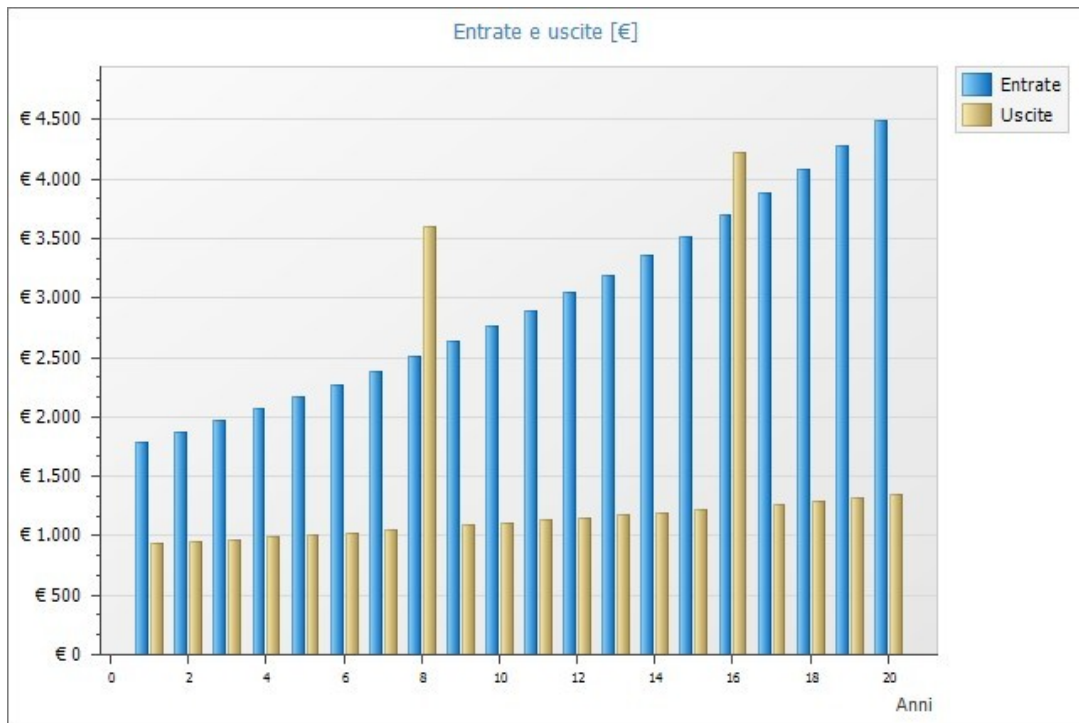


Figura 41. Entrate e uscite

### 8.1.15.2 Grafico entrate e uscite

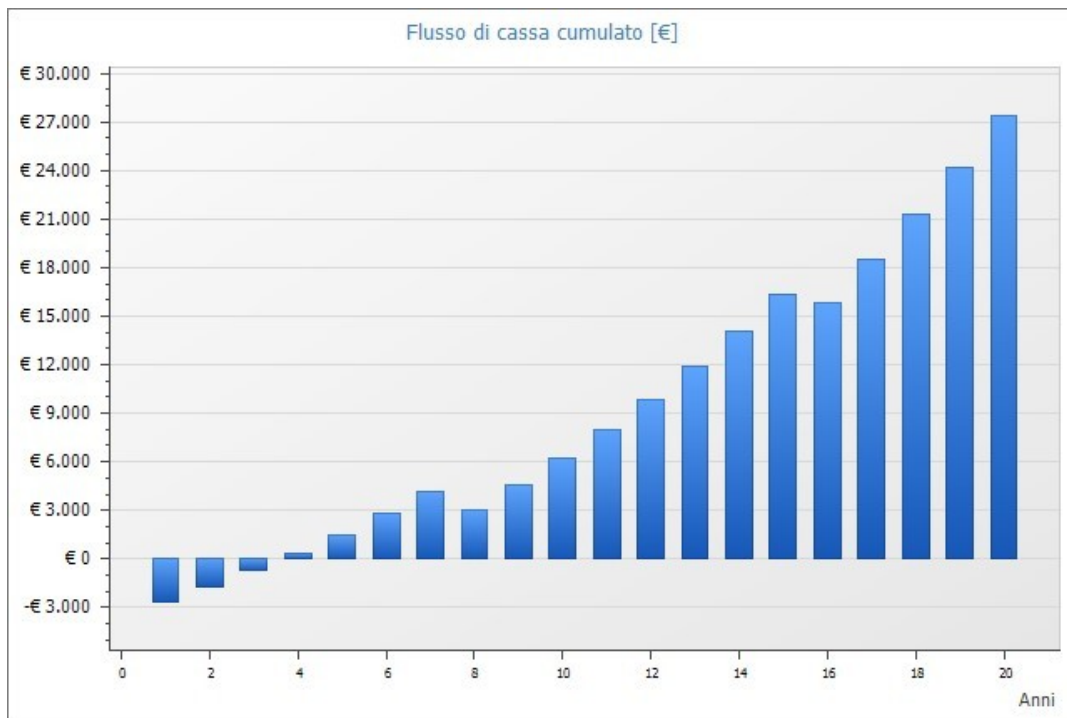


Figura 42. Flusso di cassa cumulato

## 8.2 Allegato 2 – Scheda tecnica dei componenti

### 8.2.1 Pannello fotovoltaico

MODELLO	SPECIFICHE ELETTRICHE
Potenza massima (Pmax) <sup>1</sup>	330 W
Tensione massima (Vpm)	58,0 V
Corrente massima (Ipm)	5,701 A
Tensione a circuito aperto (Voc)	69,7 V
Corrente di cortocircuito (isc)	6,07 A
Potenza massima a NOCT (Normal Operating Conditions)	251,9W
Coefficiente di temperatura (Pmax)	-0,258%/°C
Coefficiente di temperatura (Voc)	-0,164 V/°C
Coefficiente di temperatura (Isc)	3,34 mA/°C
NOCT	44,0 °C
Efficienza del modulo	19,7%
Tensione massima del sistema	1000 V
Amperaggio massimo del fusibile di serie	15 A
Tolleranza di potenza (-/+)	+10%/0%*

MODELLO	SPECIFICHE MECCANICHE
Diodi di bypass interni	4 diodi di bypass
Area del modulo	1,67 m <sup>2</sup>
Peso	19 kg
Dimensioni lung. x larg. x alt.	1590 mm x 1053 mm x 40 mm
Lunghezza del cavo +maschio/- femmina	1020 mm/1020 mm
Dimensioni/tipo di cavo	N. 12 AWG/cavo FV
Tipo di connettore	SMK
Carico da vento e statico/da neve	5.400 Pa
Dimensioni pallet lung x larg x alt	1618 mm x 1071 mm x 2356 mm (pila doppia)
Quantità per pallet/peso del pallet	48 pz. (2 x 24 pz.) (960 kg)
Quantità per container 40'	672 pz.

MODELLO	CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO E CLASSIFICAZIONE DI SICUREZZA
Temperatura di funzionamento	Da -40 °C a 85 °C
Certificazioni e classificazione di sicurezza	IEC61215, IEC61730-1, IEC1730-2
Classificazione della reazione al fuoco	Class Uno (TÜV Rheinland)
Garanzia limitata	25** anni su manodopera e potenza erogata (lineare)***

NOTA: Condizioni di prova standard: Massa d'aria 1,5; irraggiamento = 1000 W/m<sup>2</sup>; temp. celle 25 °C \* Potenza massima all'erogazione. Per le condizioni di garanzia, consultare il nostro documento di garanzia. \*\* Occorre eseguire la registrazione su [www.eu-solar.panasonic.net](http://www.eu-solar.panasonic.net), in caso contrario valgono 15 anni in base al documento di garanzia. \*\*\* 1° anno 97%, dal 2° anno -0,45%/anno, al 25° anno 86,2%. STC: temp., celle 25 °C, MA 1,5, 1000 W/m<sup>2</sup>

## 8.2.2 Inverter

MODELLO	DATI IN ENTRATA
Corrente di entrata max ( $I_{dc \max 1} / I_{dc \max 2}$ 1))	16,0 A / 16,0 A
Max contributo alla corrente di corto circuito (MPP1/MPP2 1))	24,0 A / 24,0 A
Tensione di entrata min, ( $U_{dc \min}$ )	150 V
Tensione di avvio alimentazione ( $U_{dc \text{ start}}$ )	200 V
Tensione di entrata nominale ( $U_{dc,r}$ )	595 V
Tensione di entrata max, ( $U_{dc \max}$ )	1,000 V
Gamma di tensione MPP ( $U_{mpp \min} - U_{mpp \max}$ )	150 - 800 V
Numero tracker MPP	2
Numero ingressi CC	2+2
Massima potenza di uscita del generatore	7,4kW di picco

MODELLO	DATI IN USCITA
Potenza nominale CA ( $P_{ac,r}$ )	3,700 W
Potenza di uscita max,	3,700 VA
Corrente di uscita max, ( $I_{ac \max}$ )	5,3 A
Allacciamento alla rete ( $U_{ac, r}$ )	3~NPE 400 V / 230 V or 3~NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)
Frequenza ( $f_r$ )	50 Hz / 60 Hz
Gamma di frequenza ( $f_{\min} - f_{\max}$ )	45 - 65 Hz
Fattore di distorsione	< 3 %
Fattore di potenza ( $\cos ac,r$ )	0,85 - 1 ind, / cap,

MODELLO	SPECIFICHE MECCANICHE
Dimensioni (altezza x larghezza x profondità)	645 x 431 x 204 mm
Peso	19,9 kg
Grado di protezione	IP 65
Classe di protezione	1
Categoria sovratensione (CC/CA)2)	2 / 3
Consumo notturno	< 1 W
Concezione dell'inverter	Senza trasformatore
Raffreddamento	Ventilazione regolata
Montaggio	In interni e in esterni
Gamma temperatura ambiente	-25 – +60 °C
Umidità dell'aria consentita	da 0 a 100 %
Max. altitudine	Modbus RTU SunSpec o connessione Smart Meter
Tecnica di collegamento CC	4xDC+ e 4xDC- morsetti 2,5 - 16mm <sup>2</sup> 3)
Tecnica di collegamento CA	morsetti 2,5 - 16mm <sup>2</sup> 5 poli AC 3)

1) Per Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M e 4.5-3-M 2) conforme a IEC 62109-1. 3) 16 mm<sup>2</sup> senza puntalini salvacavo.

### 8.2.3 Sistema di accumulo

<b>MODELLO</b>	<b>48 V</b>
Energia totale [kWh] <sup>1)</sup>	6,5
Energia fruibile [kWh] <sup>2)</sup>	5,9
Capacità [Ah]	126
Tensione nominale [V]	51,8
Gamma di tensioni [V]	42,0~58,8
Potenza massima [kW]	4,2
Picco di potenza [kW] (per 3 sec.)	4,6
Dimensione [L x A x P, mm]	452 x 656 x 120
Peso [kg]	52
Classificazione protezione involucro	IP55
Comunicazione	CAN2.0B

1) L'energia totale viene misurata allo stadio iniziale della vita utile della batteria, nelle seguenti condizioni: Temperatura 25°C

2) L'energia utilizzabile è basata esclusivamente sulla cella della batteria

## 9 Normativa

Gli impianti fotovoltaici e i relativi componenti devono rispettare, ove di pertinenza, le prescrizioni contenute nelle seguenti norme di riferimento, comprese eventuali varianti, aggiornamenti ed estensioni emanate successivamente dagli organismi di normazione citati.

Si applicano inoltre i documenti tecnici emanati dai gestori di rete riportanti disposizioni applicative per la connessione di impianti fotovoltaici collegati alla rete elettrica e le prescrizioni di autorità locali, comprese quelle dei VVFF.

### Normativa generale

**Decreto Legislativo n. 504 del 26-10-1995, e s.m.i.:** Testo Unico delle disposizioni legislative concernenti le imposte sulla produzione e sui consumi e relative sanzioni penali e amministrative

**Decreto Legislativo n. 387 del 29-12-2003:** attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità.

**Legge n. 239 del 23-08-2004:** riordino del settore energetico, nonché delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia.

**Decreto Legislativo n. 192 del 19-08-2005:** attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

**Decreto Legislativo n. 311 del 29-12-2006:** disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

**Decreto Legislativo n. 115 del 30-05-2008:** attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

**Decreto Legislativo n. 56 del 29-03-2010:** modifiche e integrazioni al decreto 30 maggio 2008, n. 115.

**Decreto del presidente della repubblica n. 59 del 02-04-2009:** regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.

**Decreto Legislativo n. 26 del 2-02-2007:** attuazione della direttiva 2003/96/CE che ristruttura il quadro comunitario per la tassazione dei prodotti energetici e dell'elettricità.

**Decreto Legge n. 73 del 18-06-2007:** testo coordinato del Decreto Legge 18 giugno 2007, n. 73.

**Decreto 2-03-2009:** disposizioni in materia di incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.

**Legge n. 99 del 23 luglio 2009:** disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia.

**Legge 13 Agosto 2010, n. 129 (GU n. 192 del 18-8-2010):** Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 8 luglio 2010, n. 105, recante misure urgenti in materia di energia. Proroga di termine per l'esercizio di delega legislativa in materia di riordino del sistema degli incentivi. (Art. 1-septies - Ulteriori disposizioni in materia di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili).

**Decreto legislativo del 3 marzo 2011, n. 28:** Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

**Decreto legge del 22 giugno 2012, n. 83:** misure urgenti per la crescita del Paese.

**Legge 11 agosto 2014, n. 116:** conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 24 giugno 2014, n. 91, recante disposizioni urgenti per il settore agricolo, la tutela ambientale e l'efficientamento energetico dell'edilizia scolastica e universitaria, il rilancio e lo sviluppo delle imprese, il contenimento dei costi gravanti sulle tariffe elettriche, nonché per la definizione immediata di adempimenti derivanti dalla normativa europea. (GU Serie Generale n. 192 del 20-8-2014 - Suppl. Ordinario n. 72).

Decreto Ministero dello sviluppo economico del 19 maggio 2015 (GU n.121 del 27-5-2015): approvazione del modello unico per la realizzazione, la connessione e l'esercizio di piccoli impianti fotovoltaici integrati sui tetti degli edifici.

### Sicurezza

**D.Lgs. 81/2008:** (testo unico della sicurezza): misure di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e succ. mod. e int.

**DM 37/2008:** sicurezza degli impianti elettrici all'interno degli edifici.

#### Ministero dell'interno

**"Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici"** - DCPREV, prot. 5158 - Edizione 2012.

**"Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici"** - Nota DCPREV, prot. 1324 - Edizione 2012.

**"Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici"** - Chiarimenti alla Nota DCPREV, prot.1324 "Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici – Edizione 2012".

#### Secondo Conto Energia

**Decreto 19-02-2007:** criteri e modalità per incentivare la produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare, in attuazione dell'articolo 7 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387.

**Legge n. 244 del 24-12-2007 (Legge finanziaria 2008):** disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato.

**Decreto Attuativo 18-12-2008 - Finanziaria 2008**

**DM 02/03/2009:** disposizioni in materia di incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.

#### Terzo Conto Energia

**Decreto 6 agosto 2010:** incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.

#### Quarto Conto Energia

**Decreto 5 maggio 2011:** incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici.

#### Quinto Conto Energia

**Decreto 5 luglio 2012:** attuazione dell'art. 25 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, recante incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici.

**Deliberazione 12 luglio 2012 292/2012/R/EFR:** determinazione della data in cui il costo cumulato annuo degli incentivi spettanti agli impianti fotovoltaici ha raggiunto il valore annuale di 6 miliardi di euro e della decorrenza delle modalità di incentivazione disciplinate dal decreto del ministro dello sviluppo economico, di concerto con il ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 5 luglio 2012.

#### Decreto FER1

**Decreto 4 luglio 2019:** incentivazione dell'energia elettrica prodotta dagli impianti eolici on shore, solari fotovoltaici, idroelettrici e a gas residuati dei processi di depurazione.

NORME TECNICHE

#### Normativa fotovoltaica

**CEI 82-25:** guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione.

**CEI 82-25; V2:** guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione.

**CEI EN 60904-1(CEI 82-1):** dispositivi fotovoltaici Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche tensione-corrente.

**CEI EN 60904-2 (CEI 82-2):** dispositivi fotovoltaici - Parte 2: Prescrizione per le celle fotovoltaiche di riferimento.

**CEI EN 60904-3 (CEI 82-3):** dispositivi fotovoltaici - Parte 3: Principi di misura per sistemi solari fotovoltaici per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento.



- CEI EN 61215 (CEI 82-8):** moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo.
- CEI EN 61646 (82-12):** moduli fotovoltaici (FV) a film sottile per usi terrestri - Qualifica del progetto e approvazione di tipo.
- CEI EN 61724 (CEI 82-15):** rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici - Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati.
- CEI EN 61730-1 (CEI 82-27):** qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) - Parte 1: Prescrizioni per la costruzione.
- CEI EN 61730-2 (CEI 82-28):** qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) - Parte 2: Prescrizioni per le prove.
- CEI EN 62108 (82-30):** moduli e sistemi fotovoltaici a concentrazione (CPV) - Qualifica di progetto e approvazione di tipo.
- CEI EN 62093 (CEI 82-24):** componenti di sistemi fotovoltaici - moduli esclusi (BOS) - Qualifica di progetto in condizioni ambientali naturali.
- CEI EN 50380 (CEI 82-22):** fogli informativi e dati di targa per moduli fotovoltaici.
- CEI EN 50521 (CEI 82-31):** connettori per sistemi fotovoltaici - Prescrizioni di sicurezza e prove.
- CEI EN 50524 (CEI 82-34):** fogli informativi e dati di targa dei convertitori fotovoltaici.
- CEI EN 50530 (CEI 82-35):** rendimento globale degli inverter per impianti fotovoltaici collegati alla rete elettrica.
- EN 62446 (CEI 82-38):** grid connected photovoltaic systems - Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection.
- CEI 20-91:** cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e 1 500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- UNI 10349:** riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

#### Altra Normativa sugli impianti elettrici

- CEI 0-2:** guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici.
- CEI 0-16:** regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 0-21:** regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-20:** impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria.
- CEI EN 50438 (CT 311-1):** prescrizioni per la connessione di micro-generatori in parallelo alle reti di distribuzione pubblica in bassa tensione.
- CEI 64-8:** impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.
- CEI EN 60099-1 (CEI 37-1):** scaricatori - Parte 1: Scaricatori a resistori non lineari con spinterometri per sistemi a corrente alternata
- CEI EN 60439 (CEI 17-13):** apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT).
- CEI EN 60445 (CEI 16-2):** principi base e di sicurezza per l'interfaccia uomo-macchina, marcatura e identificazione - Individuazione dei morsetti e degli apparecchi e delle estremità dei conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico.
- CEI EN 60529 (CEI 70-1):** gradi di protezione degli involucri (codice IP).
- CEI EN 60555-1 (CEI 77-2):** disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi apparecchiature e da equipaggiamenti elettrici simili - Parte 1: Definizioni.
- CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31):** compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 3: Limiti - Sezione 2: Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso  $I_n = 16$  A per fase).
- CEI EN 62053-21 (CEI 13-43):** apparati per la misura dell'energia elettrica (c.a.) - Prescrizioni particolari - Parte 21: Contatori statici di energia attiva (classe 1 e 2).

**CEI EN 62053-23 (CEI 13-45):** apparati per la misura dell'energia elettrica (c.a.) - Prescrizioni particolari - Parte 23: Contatori statici di energia reattiva (classe 2 e 3).

**CEI EN 50470-1 (CEI 13-52):** apparati per la misura dell'energia elettrica (c.a.) - Parte 1: Prescrizioni generali, prove e condizioni di prova - Apparato di misura (indici di classe A, B e C).

**CEI EN 50470-3 (CEI 13-54):** apparati per la misura dell'energia elettrica (c.a.) - Parte 3: Prescrizioni particolari - Contatori statici per energia attiva (indici di classe A, B e C).

**CEI EN 62305 (CEI 81-10):** protezione contro i fulmini.

**CEI 81-3:** valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato.

**CEI 20-19:** cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V.

**CEI 20-20:** cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V.

**CEI 13-4:** sistemi di misura dell'energia elettrica - Composizione, precisione e verifica.

**CEI UNI EN ISO/IEC 17025:2008:** requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura.

#### DELIBERE AEEGSI

##### Connessione

**Delibera ARG/ELT n. 33-08:** condizioni tecniche per la connessione alle reti di distribuzione dell'energia elettrica a tensione nominale superiore ad 1 kV.

**Deliberazione 84/2012/R/EEL:** interventi urgenti relativi agli impianti di produzione di energia elettrica, con particolare riferimento alla generazione distribuita, per garantire la sicurezza del sistema elettrico nazionale.

##### Ritiro dedicato

**Delibera ARG/ELT n. 280-07:** modalità e condizioni tecnico-economiche per il ritiro dell'energia elettrica ai sensi dell'articolo 13, commi 3 e 4, del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387-03, e del comma 41 della legge 23 agosto 2004, n. 239-04.

##### Servizio di misura

**Delibera ARG/ELT n. 88-07:** disposizioni in materia di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di generazione.

**TIME (2016-2019) - Allegato B Delibera 654/2015/R/EEL:** testo integrato delle disposizioni per l'erogazione del servizio di misura dell'energia elettrica.

##### Tariffe

**Delibera 111-06:** condizioni per l'erogazione del pubblico servizio di dispacciamento dell'energia elettrica sul territorio nazionale e per l'approvvigionamento delle relative risorse su base di merito economico, ai sensi degli articoli 3 e 5 del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79.

**TIV - Allegato A - Deliberazione 19 luglio 2012 301/2012/R/EEL (valido dal 02-04-2019)**

**TIT (2018-2019) - Allegato A Delibera 654/2015/R/EEL:** testo integrato delle disposizioni per l'erogazione dei servizi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

**TIC (2016-2019) - Allegato C Delibera 654/2015/R/EEL:** testo integrato delle condizioni economiche per l'erogazione del servizio di connessione

**TIS - Allegato A Deliberazione ARG/ELT 107-09 (valido dal 01-09-2018):** testo integrato delle disposizioni dell'autorità per l'energia elettrica e il gas in ordine alla regolazione delle partite fisiche ed economiche del servizio di dispacciamento (Settlement)

##### TICA

**Delibera ARG/ELT n. 99-08 TICA:** testo integrato delle condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica (Testo integrato delle connessioni attive – TICA).

**Deliberazione ARG/ELT 124/10:** Istituzione del sistema di Gestione delle Anagrafiche Uniche Degli Impianti di produzione e delle relative unità (GAUDI) e razionalizzazione dei flussi informativi tra i vari soggetti operanti nel settore della produzione di energia elettrica.

**Deliberazione ARG/ELT n. 181-10:** attuazione del decreto del Ministro dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 6 agosto 2010, ai fini dell'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.

#### TISP

**Delibera ARG/ELT n. 188-05:** definizione del soggetto attuatore e delle modalità per l'erogazione delle tariffe incentivanti degli impianti fotovoltaici, in attuazione dell'articolo 9 del decreto del Ministro delle attività produttive, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, 28 luglio 2005 con modifiche e integrazioni introdotte con le delibere n. 40/06, n. 260/06, 90/07, ARG/ELT 74/08 e ARG/ELT 1/09.

**TISP - Delibera ARG/ELT n. 74-08:** testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per lo scambio sul posto.

**Delibera ARG/ELT n.1-09:** attuazione dell'articolo 2, comma 153, della legge n. 244/07 e dell'articolo 20 del decreto ministeriale 18 dicembre 2008, in materia di incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili tramite la tariffa fissa onnicomprensiva e di scambio sul posto.

**TISP - Allegato A alla deliberazione 570/2012/R/EEL:** testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per l'erogazione del servizio di scambio sul posto con integrazioni e modifiche apportate con deliberazioni 578/2013/R/EEL, 614/2013/R/EEL, 612/2014/R/EEL, 128/2017/R/EEL e 96/2018/R/EEL. Documento per la consultazione 488/2013/R/EFR: scambio sul posto: aggiornamento del limite massimo per la restituzione degli oneri generali di sistema nel caso di impianti alimentati da fonti rinnovabili.

#### TEP

**Delibera EEN 3/08:** aggiornamento del fattore di conversione dei kWh in tonnellate equivalenti di petrolio connesso al meccanismo dei titoli di efficienza energetica.

#### TIQE

**Deliberazione 646/2015/R/EEL:** testo integrato della regolazione output-based dei servizi di distribuzione e misura dell'energia elettrica. Periodo di regolazione 2016-2023 (Versione modificata e integrata con deliberazione 38/2016/R/EEL)

#### SEU

**Deliberazione 578/2013/R/EEL:** regolazione dei servizi di connessione, misura, trasmissione, distribuzione, dispacciamento e vendita nel caso di sistemi semplici di produzione e consumo.

**Allegato A alla deliberazione 578/2013/R/EEL:** testo integrato dei sistemi semplici di produzione e consumo - TISSPC (Versione integrata e modificata dalle deliberazioni 426/2014/R/EEL, 612/2014/R/EEL, 242/2015/R/EEL, 72/2016/R/EEL, 458/2016/R/EEL, 788/2016/R/EEL, 276/2017/R/EEL, 894/2017/R/EEL, 921/2017/R/EEL e 426/2018/R/EEL).

**Deliberazione 609/2014/R/EEL:** prima attuazione delle disposizioni del decreto legge 91/2014, in tema di applicazione dei corrispettivi degli oneri generali di sistema per reti interne e sistemi efficienti di produzione e consumo. (Versione modificata con la deliberazione 25 giugno 2015, 302/2015/R/COM).

#### AGENZIA DELLE ENTRATE

**Circolare n. 46/E del 19/07/2007:** articolo 7, comma 2, del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 – Disciplina fiscale degli incentivi per gli impianti fotovoltaici.

**Circolare n. 66 del 06/12/2007:** tariffa incentivante art. 7, c. 2, del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387. Circolare n. 46/E del 19 luglio 2007 - Precisazione.

**Risoluzione n. 21/E del 28/01/2008:** istanza di Interpello– Aliquota Iva applicabile alle prestazioni di servizio energia - nn. 103) e 122) della Tabella A, Parte terza, d.P.R. 26/10/1972, n. 633 - Alfa S.p.A.

**Risoluzione n. 22/E del 28/01/2008:** istanza di Interpello - Art. 7, comma 2, d. lgs. vo n. 387 del 29 dicembre 2003.

**Risoluzione n. 61/E del 22/02/2008:** trattamento fiscale ai fini dell'imposta sul valore aggiunto e dell'applicazione della ritenuta di acconto della tariffa incentivante per la produzione di energia fotovoltaica di cui all'art. 7, comma 2, del d.lgs. n. 387 del 29 dicembre 2003.

**Circolare n. 38/E del 11/04/2008:** articolo 1, commi 271-279, della legge 27 dicembre 2006, n. 296 – Credito d'imposta per acquisizioni di beni strumentali nuovi in aree svantaggiate.

**Risoluzione n. 13/E del 20/01/2009:** istanza di interpello – Art. 11 Legge 27 luglio 2000, n. 212 – Gestore dei Servizi Elettrici, SPA –Dpr 26 ottobre 1972, n. 633 e Dpr 22 dicembre 1986, n. 917.

**Risoluzione n. 20/E del 27/01/2009:** interpello - Art. 11 Legge 27 luglio 2000, n. 212 - ALFA – art.9 , DM 2 febbraio 2007.

**Circolare del 06/07/2009 n. 32/E:** imprenditori agricoli - produzione e cessione di energia elettrica e calorica da fonti rinnovabili agroforestali e fotovoltaiche nonché di carburanti e di prodotti chimici derivanti prevalentemente da prodotti del fondo: aspetti fiscali. Articolo 1, comma 423, della legge 23 dicembre 2005, n. 266 e successive modificazioni.

**Risoluzione del 25/08/2010 n. 88/E:** interpello - Gestore Servizi Energetici - GSE - articolo 2 della legge 24 dicembre 2007, n. 244.

**Risoluzione del 04/04/2012 n. 32/E:** trattamento fiscale della produzione di energia elettrica da parte dell'ente pubblico mediante impianti fotovoltaici – Scambio sul posto e scambio a distanza.

**Risoluzione del 10/08/2012 n. 84/E:** interpello - Art. 28 del DPR 29 settembre 1973, n. 600 (Impianti FTV su Condomini).

**Risoluzione del 06/12/2012:** interpello - Gestore Servizi Energetici - GSE - Fiscalità V Conto Energia.

**Risoluzione del 02/04/2013 n. 22/E:** applicabilità della detrazione fiscale del 36 per cento, prevista dall'art. 16-bis del TUIR, alle spese di acquisto e installazione di un impianto fotovoltaico diretto alla produzione di energia elettrica.

**Circolare del 19/12/2013 n. 36/E:** impianti fotovoltaici – Profili catastali e aspetti fiscali.

**Risoluzione del 15/10/2015 n. 86/E:** tassazione forfettaria del reddito derivante dalla produzione e dalla cessione di energia elettrica da impianti fotovoltaici - Art. 22 del decreto-legge n. 66 del 2014.

**Circolare del 01/02/2016 n. 2/E:** unità immobiliari urbane a destinazione speciale e particolare - Nuovi criteri di individuazione dell'oggetto della stima diretta. Nuove metodologie operative in tema di identificazione e caratterizzazione degli immobili nel sistema informativo catastale (procedura Docfa).

#### AGENZIA DEL TERRITORIO

**Risoluzione n. 3/2008:** accertamento delle centrali elettriche a pannelli fotovoltaici.

**Nota Prot. n. 31892** - Accertamento degli immobili ospitanti gli impianti fotovoltaici.

#### SSP

**Disposizioni Tecniche di Funzionamento.**

**Regole Tecniche sulla Disciplina dello scambio sul posto.**

#### Ritiro dedicato

**Prezzi medi mensili per fascia oraria e zona di mercato.**

**Prezzi minimi garantiti.**

#### SEU

**Regole applicative per la presentazione della richiesta e il conseguimento della qualifica di SEU e SESEU.**

**Guida alla qualifica dei sistemi SEU e SESEU.**

FER1

**Regolamento Operativo per l'iscrizione ai Registri e alle Aste del DM 4 luglio 2019 (23/08/2019)**

TERNA

**Gestione transitoria dei flussi informativi per GAUDÌ.**

**GAUDÌ - Gestione anagrafica unica degli impianti e delle unità di produzione. FAQ GAUDÌ**

**Requisiti minimi per la connessione e l'esercizio in parallelo con la rete AT (Allegato A.68).**

**Criteri di connessione degli impianti di produzione al sistema di difesa di Terna (Allegato A.69).**

**Regolazione tecnica dei requisiti di sistema della generazione distribuita (Allegato A.70).**

I riferimenti di cui sopra possono non essere esaustivi. Ulteriori disposizioni di legge, norme e deliberazioni in materia, anche se non espressamente richiamati, si considerano applicabili.

## 10 Riferimenti bibliografici

Sofia Agostinelli, Fabrizio Cumo, Giambattista Guidi, and Claudio Tomazzoli, The potential of digital twin model integrated with artificial intelligence systems, In Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, EEEIC / I and CPS Europe 2020, 2020,

Matteo Cristani, Erisa Karafili, and Claudio Tomazzoli, Improving energy saving techniques by ambient intelligence scheduling, In Proceedings of the 2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2015), volume 1, pages 324-331, Los Alamitos, California, 2015, Conference Publishing Services (CPS), IEEE Computer Society,

Matteo Cristani, Claudio Tomazzoli, Francesco Olivieri, and Karafili Erisa, Defeasible reasoning about electric consumptions, In Proceedings of the 30th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2016), pages 885-892, 2016,

Simone Scannapieco and Claudio Tomazzoli, Ubiquitous and pervasive computing for real-time energy management and saving, In Advances in Intelligent Systems and Computing, volume 612, pages 3-15, 2017,

Claudio Tomazzoli, Sistema per la gestione di energia in almeno un edificio e relativo metodo, 2011, Italian Patent n, 0001404179 (15-11-2013),

Claudio Tomazzoli, Matteo Cristani, Erisa Karafili, and Francesco Olivieri, Non-monotonic reasoning rules for energy efficiency, JOURNAL OF AMBIENT INTELLIGENCE AND SMART ENVIRONMENTS, 9:345-360, 2017,

Claudio Tomazzoli, Matteo Cristani, and Francesco Olivieri, Automatic synthesis of best practices for energy consumptions, In Proceedings of the tenth international Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, pages 1-8, IEEE CPS, 2016,

Claudio Tomazzoli and Simone Scannapieco, Machine learning for energy efficiency - automatic detection of electric loads from power consumption, In IEEE Xplore, pages 1-6, 2017.

## 11 Definizioni

### Definizioni - Rete Elettrica

**Distributore** Persona fisica o giuridica responsabile dello svolgimento di attività e procedure che determinano il funzionamento e la pianificazione della rete elettrica di distribuzione di cui è proprietaria.

**Rete del distributore** Rete elettrica di distribuzione AT, MT e BT alla quale possono collegarsi gli utenti.

**Rete BT del distributore** Rete a tensione nominale superiore a 50 V fino a 1.000 V compreso in c.a.

**Rete MT del distributore** Rete a tensione nominale superiore a 1.000 V in c.a. fino a 30.000 V compreso.

**Utente** Soggetto che utilizza la rete del distributore per cedere o acquistare energia elettrica.

**Gestore di rete** Il Gestore di rete è la persona fisica o giuridica responsabile, anche non avendone la proprietà, della gestione della rete elettrica con obbligo di connessione di terzi a cui è connesso l'impianto (Deliberazione dell'AEEG n. 28/06).

**Gestore Contraente** Il Gestore Contraente è l'impresa distributrice competente nell'ambito territoriale in cui è ubicato l'impianto fotovoltaico (Deliberazione dell'AEEG n. 28/06).



Definizioni - Impianto Fotovoltaico

**Angolo di inclinazione (o di Tilt)** Angolo di inclinazione del piano del dispositivo fotovoltaico rispetto al piano orizzontale (da IEC/TS 61836).

**Angolo di orientazione (o di azimut)** L'angolo di orientazione del piano del dispositivo fotovoltaico rispetto al meridiano corrispondente. In pratica, esso misura lo scostamento del piano rispetto all'orientazione verso SUD (per i siti nell'emisfero terrestre settentrionale) o verso NORD (per i siti nell'emisfero meridionale). Valori positivi dell'angolo di azimut indicano un orientamento verso ovest e valori negativi indicano un orientamento verso est (CEI EN 61194).

**BOS (Balance Of System o Resto del sistema)** Insieme di tutti i componenti di un impianto fotovoltaico, esclusi i moduli fotovoltaici.

**Generatore o Campo fotovoltaico** Insieme di tutte le schiere di moduli fotovoltaici in un sistema dato (CEI EN 61277).

**Cella fotovoltaica** Dispositivo fotovoltaico fondamentale che genera elettricità quando viene esposto alla radiazione solare (CEI EN 60904-3). Si tratta sostanzialmente di un diodo con grande superficie di giunzione, che esposto alla radiazione solare si comporta come un generatore di corrente, di valore proporzionale alla radiazione incidente su di esso.

**Condizioni di Prova Standard (STC)** Comprendono le seguenti condizioni di prova normalizzate (CEI EN 60904-3): Temperatura di cella:  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  ; Irraggiamento:  $1000\text{ W/m}^2$ , con distribuzione spettrale di riferimento (massa d'aria AM 1,5).

**Condizioni nominali** Sono le condizioni di prova dei moduli fotovoltaici, piani o a concentrazione solare, nelle quali sono rilevate le prestazioni dei moduli stessi, secondo protocolli definiti dalle pertinenti norme CEI (Comitato elettrotecnico italiano) e indicati nella Guida CEI 82- 25 e successivi aggiornamenti.

**Costo indicativo cumulato annuo degli incentivi o costo indicativo cumulato degli incentivi** Sommatoria degli incentivi, gravanti sulle tariffe dell'energia elettrica, riconosciuti a tutti gli impianti alimentati da fonte fotovoltaica in attuazione del presente decreto e dei precedenti provvedimenti di incentivazione; ai fini della determinazione del costo generato dai provvedimenti antecedenti al presente decreto, si applicano le modalità previste dal DM 5 maggio 2011; ai fini della determinazione dell'ulteriore costo generato dal presente decreto:

- i) viene incluso il costo degli impianti ammessi a registro in posizione utile. A tali impianti, fino all'entrata in esercizio, è attribuito un incentivo pari alla differenza fra la tariffa incentivante spettante alla data di entrata in esercizio dichiarata dal produttore e il prezzo medio zonale nell'anno precedente a quello di richiesta di iscrizione;
- ii) l'incentivo attribuibile agli impianti entrati in esercizio che accedono ad incentivi calcolati per differenza rispetto a tariffe incentivanti costanti, ivi inclusi gli impianti che accedono a tariffe fisse onnicomprehensive, è calcolato per differenza con il valore del prezzo zonale nell'anno precedente a quello in corso;
- iii) la producibilità annua netta incentivabile è convenzionalmente fissata in  $1200\text{ kWh/kW}$  per tutti gli impianti.

**Data di entrata in esercizio di un impianto fotovoltaico** Data in cui si effettua il primo funzionamento dell'impianto in parallelo con il sistema elettrico, comunicata dal gestore di rete e dallo stesso registrata in GAUDÌ.

**Dispositivo del generatore** Dispositivo installato a valle dei terminali di ciascun generatore dell'impianto di produzione (CEI 11-20).

**Dispositivo di interfaccia** Dispositivo installato nel punto di collegamento della rete di utente in isola alla restante parte di rete del produttore, sul quale agiscono le protezioni d'interfaccia (CEI 11-20); esso separa l'impianto di produzione dalla rete di utente non in isola e quindi dalla rete del Distributore; esso comprende un organo di interruzione, sul quale agisce la protezione di interfaccia.

**Dispositivo generale** Dispositivo installato all'origine della rete del produttore e cioè immediatamente a valle del punto di consegna dell'energia elettrica dalla rete pubblica (CEI 11-20).

**Effetto fotovoltaico** Fenomeno di conversione diretta della radiazione elettromagnetica (generalmente nel campo della luce visibile e, in particolare, della radiazione solare) in energia elettrica mediante formazione

di coppie elettrone-lacuna all'interno di semiconduttori, le quali determinano la creazione di una differenza di potenziale e la conseguente circolazione di corrente se collegate ad un circuito esterno.

**Efficienza nominale di un generatore fotovoltaico** Rapporto fra la potenza nominale del generatore e l'irraggiamento solare incidente sull'area totale dei moduli, in STC; detta efficienza può essere approssimativamente ottenuta mediante rapporto tra la potenza nominale del generatore stesso (espressa in kWp) e la relativa superficie (espressa in m<sup>2</sup>), intesa come somma dell'area dei moduli.

**Efficienza nominale di un modulo fotovoltaico** Rapporto fra la potenza nominale del modulo fotovoltaico e il prodotto dell'irraggiamento solare standard (1000 W/m<sup>2</sup>) per la superficie complessiva del modulo, inclusa la sua cornice.

**Efficienza operativa media di un generatore fotovoltaico** Rapporto tra l'energia elettrica prodotta in c.c. dal generatore fotovoltaico e l'energia solare incidente sull'area totale dei moduli, in un determinato intervallo di tempo.

**Efficienza operativa media di un impianto fotovoltaico** Rapporto tra l'energia elettrica prodotta in c.a. dall'impianto fotovoltaico e l'energia solare incidente sull'area totale dei moduli, in un determinato intervallo di tempo.

**Energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico** L'energia elettrica (espressa in kWh) misurata all'uscita dal gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata, resa disponibile alle utenze elettriche e/o immessa nella rete del distributore.

**Gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata (o Inverter)** Apparecchiatura, tipicamente statica, impiegata per la conversione in corrente alternata della corrente continua prodotta dal generatore fotovoltaico.

**Impianto (o Sistema) fotovoltaico** Impianto di produzione di energia elettrica, mediante l'effetto fotovoltaico; esso è composto dall'insieme di moduli fotovoltaici (Campo fotovoltaico) e dagli altri componenti (BOS), tali da consentire di produrre energia elettrica e fornirla alle utenze elettriche e/o di immetterla nella rete del distributore.

**Impianto (o Sistema) fotovoltaico collegato alla rete del distributore** Impianto fotovoltaico in grado di funzionare (ossia di fornire energia elettrica) quando è collegato alla rete del distributore.

**Impianto fotovoltaico a concentrazione** Un impianto di produzione di energia elettrica mediante conversione diretta della radiazione solare, tramite l'effetto fotovoltaico; esso è composto principalmente da un insieme di moduli in cui la luce solare è concentrata, tramite sistemi ottici, su celle fotovoltaiche, da uno o più gruppi di conversione della corrente continua in corrente alternata e da altri componenti elettrici minori; il «fattore di concentrazione di impianto fotovoltaico a concentrazione» è il valore minimo fra il fattore di concentrazione geometrico e quello energetico, definiti e calcolati sulla base delle procedure indicate nella Guida CEI 82-25.

**Impianto fotovoltaico integrato con caratteristiche innovative** Impianto fotovoltaico che utilizza moduli non convenzionali e componenti speciali, sviluppati specificatamente per sostituire elementi architettonici, e che risponde ai requisiti costruttivi e alle modalità di installazione indicate.

**Impianto fotovoltaico con innovazione tecnologica** Impianto fotovoltaico che utilizza moduli e componenti caratterizzati da significative innovazioni tecnologiche.

**Impianto fotovoltaico realizzato su un edificio** Impianto i cui moduli sono posizionati sugli edifici secondo specifiche modalità individuate.

**Impianti con componenti principali realizzati unicamente all'interno di un Paese che risulti membro dell'UE/SEE** A prescindere dall'origine delle materie prime impiegate, sono gli impianti fotovoltaici e gli impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative che utilizzano moduli fotovoltaici e gruppi di conversione realizzati unicamente all'interno di un Paese che risulti membro dell'Unione Europea o che sia parte dell'Accordo sullo Spazio Economico.

**Europeo - SEE (Islanda, Liechtenstein e Norvegia), nel rispetto dei seguenti requisiti:**

1. per i moduli fotovoltaici è stato rilasciato l'attestato di controllo del processo produttivo in fabbrica (Factory Inspection Attestation, come indicata nella Guida CEI 82-25 e successivi aggiornamenti) ai fini dell'identificazione dell'origine del prodotto, a dimostrazione che almeno le seguenti lavorazioni sono state eseguite all'interno dei predetti Paesi: a) moduli in silicio cristallino: stringatura celle,

assemblaggio/laminazione e test elettrici; b) moduli fotovoltaici in film sottile (thin film): processo di deposizione, assemblaggio/laminazione e test elettrici; c) moduli in film sottile su supporto flessibile: stringatura celle, assemblaggio/laminazione e test elettrici; d) moduli non convenzionali e componenti speciali: oltre alle fasi di lavorazione previste per i punti a), b) e c), a seconda della tipologia di modulo, anche le fasi di processo che determinano la non convenzionalità e/o la specialità; in questo caso, all'interno del Factory Inspection Attestation va resa esplicita anche la tipologia di non convenzionalità e/o la specialità.

2. Per i gruppi di conversione è stato rilasciato, da un ente di certificazione accreditato EN 45011 per le prove su tali componenti, l'attestato di controllo del processo produttivo in fabbrica ai fini dell'identificazione dell'origine del prodotto, a dimostrazione che almeno le seguenti lavorazioni sono state eseguite all'interno dei predetti Paesi: progettazione, assemblaggio, misure/collaudo.

**Impianto - Serra fotovoltaica** Struttura, di altezza minima dal suolo pari a 2 metri, nella quale i moduli fotovoltaici costituiscono gli elementi costruttivi della copertura o delle pareti di un manufatto adibito, per tutta la durata dell'erogazione della tariffa incentivante alle coltivazioni agricole o alla floricoltura. La struttura della serra, in metallo, legno o muratura, deve essere fissa, ancorata al terreno e con chiusure fisse o stagionalmente rimovibili.

**Impianto fotovoltaico con moduli collocati a terra** Impianto per il quale i moduli non sono fisicamente installati su edifici, serre, barriere acustiche o fabbricati rurali, né su pergole, tettoie e pensiline, per le quali si applicano le definizioni di cui all'articolo 20 del DM 6 agosto 2010.

**Inseguitore della massima potenza (MPPT)** Dispositivo di comando dell'inverter tale da far operare il generatore fotovoltaico nel punto di massima potenza. Esso può essere realizzato anche con un convertitore statico separato dall'inverter, specie negli impianti non collegati ad un sistema in c.a.

**Energia radiante** Energia emessa, trasportata o ricevuta in forma di onde elettromagnetiche.

**Irradiazione** Rapporto tra l'energia radiante che incide su una superficie e l'area della medesima superficie.

**Irraggiamento solare** Intensità della radiazione elettromagnetica solare incidente su una superficie di area unitaria. Tale intensità è pari all'integrale della potenza associata a ciascun valore di frequenza dello spettro solare (CEI EN 60904-3).

**Modulo fotovoltaico** Il più piccolo insieme di celle fotovoltaiche interconnesse e protette dall'ambiente circostante (CEI EN 60904-3).

**Modulo fotovoltaico in c.a.** Modulo fotovoltaico con inverter integrato; la sua uscita è solo in corrente alternata: non è possibile l'accesso alla parte in continua (IEC 60364-7-712).

**Pannello fotovoltaico** Gruppo di moduli fissati insieme, preassemblati e cablati, destinati a fungere da unità installabili (CEI EN 61277).

**Perdite per mismatch (o per disaccoppiamento)** Differenza fra la potenza totale dei dispositivi fotovoltaici connessi in serie o in parallelo e la somma delle potenze di ciascun dispositivo, misurate separatamente nelle stesse condizioni. Deriva dalla differenza fra le caratteristiche tensione corrente dei singoli dispositivi e viene misurata in W o in percentuale rispetto alla somma delle potenze (da IEC/TS 61836).

**Potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) di un generatore fotovoltaico** Potenza elettrica (espressa in Wp), determinata dalla somma delle singole potenze nominali (o massime o di picco o di targa) di ciascun modulo costituente il generatore fotovoltaico, misurate in Condizioni di Prova Standard (STC).

**Potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) di un impianto fotovoltaico** Per prassi consolidata, coincide con la potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) del suo generatore fotovoltaico.

**Potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) di un modulo fotovoltaico** Potenza elettrica (espressa in Wp) del modulo, misurata in Condizioni di Prova Standard (STC).

**Potenza effettiva di un generatore fotovoltaico** Potenza di picco del generatore fotovoltaico (espressa in Wp), misurata ai morsetti in corrente continua dello stesso e riportata alle Condizioni di Prova Standard (STC) secondo definite procedure (CEI EN 61829).

**Potenza prodotta da un impianto fotovoltaico** Potenza di un impianto fotovoltaico (espressa in kW) misurata all'uscita dal gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata, resa disponibile alle utenze elettriche e/o immessa nella rete del distributore.

**Potenziamento** Intervento tecnologico, realizzato nel rispetto dei requisiti e in conformità alle disposizioni del presente decreto, eseguito su un impianto entrato in esercizio da almeno tre anni, consistente in un incremento della potenza nominale dell'impianto, mediante aggiunta di una o più stringhe di moduli fotovoltaici e dei relativi inverter, la cui potenza nominale complessiva sia non inferiore a 1 kW, in modo da consentire una produzione aggiuntiva dell'impianto medesimo, come definita alla lettera l). L'energia incentivata a seguito di un potenziamento è la produzione aggiuntiva dell'impianto moltiplicata per un coefficiente di gradazione pari a 0,8.

**Produzione netta di un impianto** Produzione lorda diminuita dell'energia elettrica assorbita dai servizi ausiliari di centrale, delle perdite nei trasformatori principali e delle perdite di linea fino al punto di consegna dell'energia alla rete elettrica.

**Produzione lorda di un impianto** Per impianti connessi a reti elettriche in media o alta tensione, l'energia elettrica misurata all'uscita del gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata in bassa tensione, prima che essa sia resa disponibile alle eventuali utenze elettriche del soggetto responsabile e prima che sia effettuata la trasformazione in media o alta tensione per l'immissione nella rete elettrica; per impianti connessi a reti elettriche in bassa tensione, l'energia elettrica misurata all'uscita del gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata, ivi incluso l'eventuale trasformatore di isolamento o adattamento, prima che essa sia resa disponibile alle eventuali utenze elettriche del soggetto responsabile e immessa nella rete elettrica.

**Produzione netta aggiuntiva di un impianto** Aumento espresso in kWh, ottenuto a seguito di un potenziamento, dell'energia elettrica netta prodotta annualmente e misurata attraverso l'installazione di un gruppo di misura dedicato.

**Punto di connessione** Punto della rete elettrica, come definito dalla deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas ARG/elt 99/08 e sue successive modifiche e integrazioni.

**Radiazione solare** Integrale dell'irraggiamento solare (espresso in kWh/m<sup>2</sup>), su un periodo di tempo specificato (CEI EN 60904-3).

**Rifacimento totale** Intervento impiantistico-tecnologico eseguito su un impianto entrato in esercizio da almeno venti anni che comporta la sostituzione con componenti nuovi di almeno tutti i moduli e del gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata.

**Servizio di scambio sul posto** Servizio di cui all'articolo 6 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 e successive modifiche ed integrazioni.

**Sezioni** " l'impianto fotovoltaico può essere composto anche da sezioni di impianto a condizione che:

- a) all'impianto corrisponda un solo soggetto responsabile.
- b) ciascuna sezione dell'impianto sia dotata di autonoma apparecchiatura per la misura dell'energia elettrica prodotta ai sensi delle disposizioni di cui alla deliberazione n. 88/07.
- c) il soggetto responsabile consenta al soggetto attuatore l'acquisizione per via telematica delle misure rilevate dalle apparecchiature per la misura di cui alla precedente lettera b), qualora necessaria per gli adempimenti di propria competenza. Tale acquisizione può avvenire anche per il tramite dei gestori di rete sulla base delle disposizioni di cui all'articolo 6, comma 6.1, lettera b), della deliberazione n. 88/07;
- d) a ciascuna sezione corrisponda una sola tipologia di integrazione architettonica di cui all'articolo 2, comma 1, lettere da b1) a b3) del decreto ministeriale 19 febbraio 2007, ovvero corrisponda la tipologia di intervento di cui all'articolo 6, comma 4, lettera c), del medesimo decreto ministeriale;
- e) la data di entrata in esercizio di ciascuna sezione sia univocamente definibile " (ARG-elt 161/08).

**Soggetto responsabile** Il soggetto responsabile è la persona fisica o giuridica responsabile della realizzazione e dell'esercizio dell'impianto fotovoltaico.

**Sottosistema fotovoltaico** Parte del sistema o impianto fotovoltaico; esso è costituito da un gruppo di conversione c.c./c.a. e da tutte le stringhe fotovoltaiche che fanno capo ad esso.

**Stringa fotovoltaica** Insieme di moduli fotovoltaici collegati elettricamente in serie per ottenere la tensione d'uscita desiderata.

**Temperatura nominale di lavoro di una cella fotovoltaica (NOCT)** Temperatura media di equilibrio di una cella solare all'interno di un modulo posto in particolari condizioni ambientali (irraggiamento: 800 W/m<sup>2</sup>, temperatura ambiente: 20 °C, velocità del vento: 1 m/s), elettricamente a circuito aperto ed installato su un

telaio in modo tale che a mezzogiorno solare i raggi incidano normalmente sulla sua superficie esposta (CEI EN 60904-3).

**Definizione di Edificio:** "...un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a se stanti". (D. Lgs. n. 192 del 19 agosto 2005, articolo 2).

**Definizione di Ente locale:** ai sensi del Testo Unico delle Leggi sull'ordinamento degli Enti Locali, si intendono per enti locali i Comuni, le Province, le Città metropolitane, le Comunità montane, le Comunità isolate e le Unioni di comuni. Le norme sugli Enti Locali si applicano, altresì, salvo diverse disposizioni, ai consorzi cui partecipano Enti Locali, con esclusione di quelli che gestiscono attività aventi rilevanza economica ed imprenditoriale e, ove previsto dallo statuto, dei consorzi per la gestione dei servizi sociali. La legge 99/09 ha esteso anche alle Regioni, a partire dal 15/08/09, tale disposizione.

**Articolo 2, comma 2 (D. Lgs. n° 79 del 16-03-99)** Autoproduttore è la persona fisica o giuridica che produce energia elettrica e la utilizza in misura non inferiore al 70% annuo per uso proprio ovvero per uso delle società controllate, della società controllante e delle società controllate dalla medesima controllante, nonché per uso dei soci delle società cooperative di produzione e distribuzione dell'energia elettrica di cui all'articolo 4, numero 8, della legge 6 dicembre 1962, n. 1643, degli appartenenti ai consorzi o società consortili costituiti per la produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili e per gli usi di fornitura autorizzati nei siti industriali anteriormente alla data di entrata in vigore del decreto.

**Art. 9, comma 1 (D. Lgs. n°79 del 16-03-99) L'attività di distribuzione.** Le imprese distributrici hanno l'obbligo di connettere alle proprie reti tutti i soggetti che ne facciano richiesta, senza compromettere la continuità del servizio e purché siano rispettate le regole tecniche nonché le deliberazioni emanate dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas in materia di tariffe, contributi ed oneri. Le imprese distributrici operanti alla data di entrata in vigore del presente decreto, ivi comprese, per la quota diversa dai propri soci, le società cooperative di produzione e distribuzione di cui all'articolo 4, numero 8, della legge 6 dicembre 1962, n. 1643, continuano a svolgere il servizio di distribuzione sulla base di concessioni rilasciate entro il 31 marzo 2001 dal Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato e aventi scadenza il 31 dicembre 2030. Con gli stessi provvedimenti sono individuati i responsabili della gestione, della manutenzione e, se necessario, dello sviluppo delle reti di distribuzione e dei relativi dispositivi di interconnessione, che devono mantenere il segreto sulle informazioni commerciali riservate; le concessioni prevedono, tra l'altro, misure di incremento dell'efficienza energetica degli usi finali di energia secondo obiettivi quantitativi determinati con decreto del Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato di concerto con il Ministro dell'ambiente entro novanta giorni dalla data di entrata in vigore del presente decreto.

## 12 Curriculum Scientifico del gruppo di lavoro: CITERA

### **Fabrizio Cumo**

Professore di II fascia in Fisica Tecnica Ambientale presso la Facoltà di Architettura Valle Giulia - Università "La Sapienza". Dal 2016 direttore del centro di ricerca interdipartimentale CITERA e dal 2015 Presidente del corso di laurea triennale in Gestione del Processo edilizio della facoltà di Architettura e Direttore del Master di primo livello in BIM (Building Information Modeling).

Responsabile scientifico per il centro di ricerca CITERA del progetto finalizzato alla realizzazione di un Digital Twin (gemello digitale) per le infrastrutture portuali dei porti di Anzio, Formia, Terracina e Ventotene rivolto al controllo energetico e manutentivo delle aree - Regione Lazio (2020-2021).

Responsabile scientifico per il centro di ricerca CITERA del progetto triennale (2014-2017) Practice, programma di ricerca bilaterale europeo Italia-Svezia per conto della Direzione Generale di Internazionalizzazione della Ricerca del MIUR.

Autore di circa 180 pubblicazioni su riviste e memorie di congressi internazionali e nazionali riguardanti la sostenibilità ambientale, l'energetica e la fisica tecnica ambientale (qualità dell'aria interna, trasmissione del calore, illuminotecnica).

Docente di Gestione energetica degli edifici e di Diagnosi energetica presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Roma Sapienza.

### **Claudio Tomazzoli**

Dottore di Ricerca (PhD) in Computer Science.

Laurea in Ingegneria Informatica ed Automatica.

Assegnista di ricerca presso il Dipartimento PDTA dell'università di Roma Sapienza e presso il Dipartimento di informatica dell'Università di Verona.

Professore a contratto presso Università degli Studi di Verona, dipartimento di Scienze Giuridiche, presso il corso di laurea di Informatica" (docenza nel corso "Architettura degli Elaboratori).

Autore di numerose pubblicazioni nel campo del machine learning e delle applicazioni dei sistemi di Intelligenza artificiale applicata alla gestione di reti energetiche.

Titolare del brevetto "Energy Management System in at least one building and relative method" Brevetto Italiano n.0001404179 richiesto in data 28 febbraio 2011, concesso in data 15 novembre 2013.

### **Sofia Agostinelli**

Ingegnere Civile, frequenta il Dottorato di Ricerca in Energia e Ambiente presso Sapienza Università di Roma, ed è professore a contratto di Project Management dal 2019 presso la Facoltà di Architettura. Sviluppa temi di ricerca focalizzati su strumenti e metodi digitali per l'ottimizzazione del settore AEC (Architecture, Engineering, Construction), e dal 2021 è co-founder di una startup presso la Sapienza Università di Roma che supporta organizzazioni complesse nella transizione digitale. È coinvolta in attività di ricerca e sviluppo nazionali e internazionali, conferenze e programmi di alta formazione. Collabora con il Centro di Ricerca CITERA nell'ambito della gestione digitale dei processi edilizi attraverso sistemi basati su Digital Twin per il miglioramento delle prestazioni energetico-ambientali degli edifici e delle infrastrutture.

### **Elisa Pennacchia**



Dottore di ricerca in Energia e Ambiente presso l'Università di Roma Sapienza. Laurea in Architettura e docente di "Gestione energetica e ambientale" presso il corso di laurea di Project Management della Facoltà di Architettura dell'Università di Roma Sapienza.

Svolge attività di ricerca prevalentemente nel campo dell'efficiamento energetico dei sistemi edilizi con particolare riferimento all'integrazione dei sistemi di produzione di energia da FER all'interno dell'involucro edilizio. È autrice di numerose pubblicazioni a stampa, su riviste e convegni su tematiche inerenti la sostenibilità energetica e ambientale di sistemi e componenti edilizi.

### **Matteo Sforzini**

Dottorando di ricerca in Energia e Ambiente presso il Dipartimento di Ingegneria Astronautica Elettrica ed Energetica della Sapienza – Università di Roma. Ha conseguito la laurea magistrale in Ingegneria Energetica nel 2019. L'attività di ricerca è rivolta principalmente allo sviluppo di tecnologie legate all'utilizzo dell'idrogeno negli edifici. Dal 2016, in seguito al conseguimento della laurea triennale, ha collaborato con la Sapienza in vari ambiti relativi all'efficiamento energetico e alle fonti rinnovabili. Ha partecipato alle attività del gruppo di ricerca della Sapienza, in collaborazione con la Regione Lazio, per la messa a punto di un Action Plan per l'efficiamento energetico degli edifici nell'ambito del progetto europeo ENERSELVES – "Policy instruments for energy self-consumption in buildings".