



Ricerca di Sistema elettrico

## Sistemi e servizi smart per edifici

S. Romano, F. Romanello, F. De Lia, S. Pizzuti, C. Snels, A. Zanela,  
O. Gregori, R. Schioppo, R. Lo Presti

## SISTEMI E SERVIZI SMART PER EDIFICI

F. Romanello, S. Romano, S. Pizzuti, C. Snels, A. Zanela, O. Gregori, F. De Lia, R. Schioppo, R. Lo Presti  
(ENEA)

Dicembre 2018

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D.7 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: b Sistemi e servizi smart per edifici

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Gli autori ringraziano Martina Botticelli per la preziosa collaborazione.

# Indice

SOMMARIO .....	5
1 INTRODUZIONE .....	6
2 GESTIONE ENERGETICA SMART HOME E ASSISTED LIVING .....	8
2.1 L'HARVESTING .....	8
2.1.1 <i>Il Power Management</i> .....	10
2.1.2 <i>Gli ambienti di sviluppo per la progettazione di sistemi di energy harvesting</i> .....	10
2.1.3 <i>L'harvesting ottimale per i sensori acustici</i> .....	12
2.2 SISTEMI DI ENERGY HARVESTING PER L'ALIMENTAZIONE DEI SENSORI ACUSTICI .....	12
2.2.1 <i>Studio dei consumi del sensore acustico intelligente per smart home</i> .....	12
2.2.2 <i>Soluzioni di energy harvesting</i> .....	13
2.2.3 <i>Sistemi di alimentazione da energy harvesting</i> .....	14
2.2.4 <i>Conclusioni</i> .....	14
2.3 VALUTAZIONE E STUDIO DEI SISTEMI DI INTERFACCE INNOVATIVE, TIPO ROBOT UMANOIDI, IN GRADO DI AUMENTARE LA USABILITÀ DEI SISTEMI SMART HOME ED AGEVOLARNE L'USO AGLI UTENTI FRAGILI .....	15
2.3.1 <i>Analisi sullo stato dell'arte di robot umanoidi</i> .....	16
2.3.2 <i>Studio degli aspetti legati all'uso di robot umanoidi come dispositivi di interfaccia utente di tipo multimodale e dei servizi cloud di AI</i> .....	17
2.4 MIGLIORAMENTO DELLE CAPACITÀ DEL PARLATO DEL ROBOT NAO .....	18
2.4.1 <i>Il Robot NAO</i> .....	18
2.4.2 <i>Principi di funzionamento di NAOqi</i> .....	20
2.4.3 <i>Utilizzo del Modulo di Speech Recognition di bordo</i> .....	22
2.4.4 <i>Utilizzo di servizi online di AI per la Speech Recognition</i> .....	24
2.5 CLUSTERING DI ABITAZIONI PER LA SCELTA DI MODELLI DI DISAGGREGAZIONE DI CONSUMI ELETTRICI TRAMITE RETI DEEP .....	27
2.5.1 <i>Dati e Preprocessing</i> .....	27
2.5.2 <i>Clustering</i> .....	28
2.5.3 <i>Modelli di Machine Learning</i> .....	29
2.5.4 <i>Risultati</i> .....	29
3 SERVIZI DI AGGREGAZIONE E REALIZZAZIONE DEL DIMOSTRATIVO.....	33
3.1 VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE .....	34
3.1.1 <i>Analisi risultati conseguiti</i> .....	37
3.1.2 <i>Feedback all'utente con reportistica e planimetria interattiva</i> .....	39
3.2 CARATTERIZZAZIONE DELLA PRESTAZIONE E DELLA GESTIONE ENERGETICA DI EDIFICI PILOTA.....	42
3.2.1 <i>Caratterizzazione dell'ambiente interno</i> .....	42
3.2.2 <i>Caratterizzazione dei consumi di climatizzazione estiva</i> .....	44
3.2.3 <i>Scenari di gestione e automazione energetica</i> .....	46
3.3 INTERFACCIAMENTO CON LA PIATTAFORMA URBANA SCP .....	48
3.3.1 <i>Piattaforma smarthome</i> .....	48
3.3.2 <i>Invio dati tramite JSON da Aggregatore Smart Home a piattaforma urbana</i> .....	49
3.4 ANALISI DI SCENARI ENERGETICI PER LA REPLICABILITÀ DEL MODELLO PROPOSTO.....	50
3.4.1 <i>Contesto normativo e tecnologico dell'analisi</i> .....	50
3.4.2 <i>Simulazioni di sensitività sull'entità dell'aggregato di utenze</i> .....	53
3.4.3 <i>Evoluzione futura della figura dell'Aggregatore</i> .....	57
3.4.4 <i>Esiti dello studio</i> .....	68
3.4.5 <i>Spunti di approfondimento futuri</i> .....	69
4 SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA DI AUTOMATIC DEMAND RESPONSE PER LA GESTIONE OTTIMALE DEI CARICHI ELETTRICI.....	71
4.1 TEST DEI PROTOCOLLI DI COMUNICAZIONE .....	71
4.1.1 <i>Architettura di sistema, i due livelli di Metering</i> .....	71
4.1.2 <i>Diagramma delle comunicazioni</i> .....	74
4.1.3 <i>Discussione dei risultati ottenuti da test sul campo</i> .....	75

4.1.4	<i>Conclusioni</i> .....	80
4.2	PROOF OF CONCEPT DI BLOCKCHAIN PER LA CERTIFICAZIONE DELLA FLESSIBILITÀ ENERGETICA .....	80
4.2.1	<i>Premessa</i> .....	80
4.2.2	<i>Definizione di Blockchain</i> .....	81
4.2.3	<i>Blockchain nel settore dell'energia</i> .....	83
4.2.4	<i>Progettazione del Proof of Concept di Blockchain per la certificazione della flessibilità energetica</i> .....	85
4.2.5	<i>Architettura dello Smart Contract</i> .....	86
4.2.6	<i>Progettazione del dimostrativo pilota</i> .....	87
	ALLEGATO 1-CASI D'USO 8 DA AGGREGATORE A PIATTAFORMA URBANA .....	89
8.1.1	CASO D'Uso " CONSUMO/PRODUZIONE ELETTRICA AGGREGATA GIORNALIERA " .....	89
8.1.2	CASO D'Uso " DATI AGGREGATI DI CARATTERIZZAZIONE DELLE ABITAZIONI APPARTENENTI AGLI EDIFICI MONITORATI " .....	91
5	CONCLUSIONI.....	93
6	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	95
7	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI .....	97

## Sommario

L'obiettivo di questa linea di attività è lo sviluppo di servizi aggregati verso gli utenti del distretto per la gestione ottimizzata di abitazioni, edifici e complessi edilizi. In generale sono state proseguite le attività di implementazione delle soluzioni tecnologiche sviluppate, test in contesti reali e analisi e validazione dei risultati conseguiti.

L'attività si è articolata nei seguenti sotto-obiettivi:

### 1. Gestione energetica smart home e assisted living

Relativamente allo sviluppo di modelli e soluzioni per la disaggregazione dei dati di consumo elettrico domestico, nei tre mesi integrativi si è proceduto con una fase di test e validazione dei modelli di disaggregazione dei dati elettrici su dati provenienti dalla sperimentazione in contesti reali. Inoltre sono stati studiati e valutati i sistemi di energy harvesting per l'alimentazione di sensori acustici da integrare nel prototipo Sesto Senso. Infine sono state analizzate interfacce innovative, tipo robot umanoidi, in grado di aumentare la usabilità dei sistemi smart home ed agevolarne l'uso agli utenti fragili.

### 2. Servizi di aggregazione e realizzazione dimostrativo

Si è proseguita l'analisi dei dati provenienti dal dimostrativo sperimentale per la valutazione dei risultati, la caratterizzazione della prestazione e della gestione energetica di edifici residenziali pilota e analisi di scenari energetici per la replicabilità del modello proposto, anche tramite una review dei servizi e modelli di business innovativi nel settore delle reti di smart home. Inoltre sono stati definiti gli use case relativi alla pubblicazione dei dati per la "Smart District Platform" del verticale Smart Homes Networks.

### 3. Sviluppo di una metodologia di Automatic Demand Response per la gestione ottimale dei carichi elettrici

In particolare in questi mesi aggiuntivi, sono stati testati i protocolli di comunicazione tra il controllore dell'impianto e i sistemi di accumulo dedicati al prototipo. Inoltre è stato progettato un "Proof of Concept" basato su tecnologia Blockchain per la certificazione della flessibilità energetica degli utenti elettrici.

# 1 Introduzione

In questi tre mesi integrativi sono proseguite le attività per lo sviluppo di servizi verso gli utenti del distretto per la gestione ottimizzata di abitazioni, edifici e complessi edilizi. A tal fine sono proseguite le attività intraprese nel triennio precedente di implementazione delle soluzioni tecnologiche sviluppate, test in contesti reali e analisi e validazione dei risultati conseguiti.

In particolare le attività si sono articolate in tre sotto-obiettivi:

## 1. Gestione energetica smart home e assisted living

Si è valutata tutta l'offerta dello stato dell'arte dell'energy harvesting applicabile ai sensori per domotica ed in particolare per i sensori acustici. Si sono dapprima valutate le necessità energetiche ipotizzando uno scenario di utilizzo di tali sensori e quindi considerando le capacità di "racimolare" energia in vario modo, si sono ipotizzati gli specifici utilizzi delle varie tecniche di energy harvesting. La soluzione importate di questo lavoro dimostra che serve non solo utilizzare la tecnologia di autoproduzione locale di energia ottimale ma è indispensabile utilizzare sia elettronica a basso consumo sia studiare protocolli di comunicazione e trasferimento atti a ridurre la ridondanza dei trasferimenti e a ottimizzare la comunicazione. Quindi una "sorta" di efficientamento di sistema contribuisce in modo determinante al raggiungimento dell'indipendenza dell'approvvigionamento energetico, si veda in merito anche il Report RdS/PAR2018/024 dell'Università di Roma Tre, Dipartimento di Ingegneria.

Nell'ambito dell'assisted living si è proseguito con lo sviluppo di un robot in grado di offrire all'utente diverse modalità di interazione per riceverne ad esempio i comandi o per fornire informazioni varie, adattandosi alle abilità, anche di tipo residuale, della persona debole come riportato in dettaglio nel Report RdS/PAR2018/025 a cura dell'Università degli Studi "Tor Vergata", Dipartimento di Ingegneria Industriale. Utilizzando i servizi messi a disposizione dai cloud di Intelligenza Artificiale disponibili online, in ENEA, si sono ridotte alcune limitazioni funzionali che i robot avevano e che li limitavano sia la qualità che l'efficacia dell'interazione con l'utente a causa della ridotta dotazione sia sensoriale che computazionale dislocata a bordo. Si è utilizzato il robot umanoide NAO con uno di questi servizi ed il risultato è stato quello di un aumento considerevole della percentuale di parole correttamente riconosciute e quindi, più in generale, dell'efficacia dell'interazione uomo-macchina.

Infine in collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ingegneria Informatica, è stata proseguita l'attività relativa allo sviluppo di modelli e di strumenti basati sul machine learning per la disaggregazione dei dati di consumo elettrico domestico residenziale generale nelle componenti attribuibili ai singoli elettrodomestici, come descritto nel Report RdS/PAR2018/023

## 2. Servizi di aggregazione e realizzazione dimostrativo

Presso il dimostrativo pilota è proseguita la sperimentazione di una rete di Smart Homes descritte nel Report RdS/PAR2017/047, che ha interessato complessivamente 14 abitazioni, di cui 10 presso l'area di Centocelle a Roma e 4 nell'area N-O di Roma suddivise in due aggregati.

In questi tre mesi si è proceduto a verificare il funzionamento delle singole Smart Home ed a valutare i risultati ottenuti. La disponibilità dei dati provenienti dalla sperimentazione ha consentito di effettuare, in collaborazione con il Politecnico di Torino (Report RdS/PAR2018/026), la caratterizzazione della prestazione e della gestione energetica degli edifici pilota, mentre su un edificio tipologico e rappresentativo degli stessi sono state valutate diverse strategie di gestione e automazione in grado di assicurare sensibili risparmi energetici.

E' stato effettuato un upgrade della piattaforma di Aggregazione, disponibile all'indirizzo <https://www.smarthome.enea.it/>, per la realizzazione di nuovi servizi da offrire agli utenti, così da agevolare

e migliorarne l'usabilità dell'applicazione Smart Home da parte degli utenti finali. A tal fine sono stati implementati nuovi servizi forniti dall'Aggregatore, in particolare sono stati predisposti dei report automatici che vengono inviati mensilmente all'indirizzo mail fornito dall'utente, al fine di incentivare un uso più efficiente dell'energia promuovendo il cambiamento del comportamento attraverso la consapevolezza ed il coinvolgimento degli utenti finali. Parallelamente è stato sviluppato un servizio per la visualizzazione interattiva della planimetria dell'abitazione con lo scopo di semplificare l'interazione tra utente e EB, in risposta alle esigenze manifestate dagli utenti durante la sperimentazione. Inoltre sono stati definiti ed implementati gli use case relativi alla pubblicazione dei dati del verticale Smart Homes Networks per la "Smart District Platform": giornalmente vengono inviati i dati aggregati relativi al consumo e produzione di energia da rinnovabile relativi ai due aggregati della rete di smart home oggetto di sperimentazione.

Infine è proseguita l'analisi della replicabilità del modello proposto intrapresa precedentemente (Report RdS/PAR2017/102) anche tramite una review dei servizi e modelli di business innovativi nel settore delle reti di smart home. Tale analisi ha evidenziato come l'integrazione di nuovi servizi, oltre che quelli in ambito energetico, si tradurrebbe in vantaggi in termini di minori utenze da servire per quelle aree di mercato elettrico (Nord e Centro Sud) dove già i soli servizi core risulterebbero sostenibili (numero più che dimezzato rispetto al caso base) e di apertura del mercato per quelle aree (Sud) in cui i modelli base non troverebbero idonea sostenibilità.

### **3. Sviluppo di una metodologia di Automatic Demand Response per la gestione ottimale dei carichi elettrici**

In questi mesi aggiuntivi, sono stati testati con successo i protocolli di comunicazione tra il controllore e i sistemi di accumulo dedicati al prototipo di impianto progettato per verificare in campo le logiche AutoDR provate in fase di simulazione

Inoltre è stato progettato un "Proof of Concept" basato su tecnologia Blockchain per la certificazione della flessibilità energetica degli utenti elettrici.

## 2 Gestione energetica smart home e assisted living

### 2.1 L'Harvesting

L'approvvigionamento energetico "in autoproduzione" sia dei sistemi sensoriali che degli attuatori sarà sempre più di fondamentale importanza rendendo effettiva l'applicazione delle varie tecnologie microelettroniche alle oramai estremamente diffuse applicazioni sensoristiche in ambito Internet of Things e a maggior ragione in ambito della emergente Internet of Everything. Nel prossimo futuro saranno collegati alla rete nella modalità IoT miliardi di dispositivi sensoriali e attuativi per i quali si è risolta la tecnica di indirizzamento adottando il protocollo di indirizzamento IPV6 ma che rimane invece insoluta quella dell'alimentazione wireless e quindi è impensabile che tale enorme numero di dispositivi possa essere alimentato a batteria tralasciando tutte le problematiche sia dell'impatto ambientale che dei costi sia delle batterie che di manutenzione come e soprattutto quella della sostituzione periodica delle batterie scariche e degli inevitabili fuori-servizio. Altra applicazione impensabile e improponibile per varie evidenti ragioni è quella del cablaggio della rete di alimentazione, vuoi per le differenti richieste di tensione che delle differenti richieste di energia dei singoli nodi del sistema. L'alimentazione basata su sistemi a batteria, anche se ricaricabili, ancorché particolarmente efficienti e miniaturizzate, non risolve infatti in maniera adeguata e soddisfacente i requisiti applicativi che stanno emergendo in ambito IoT e IoE. Due tecnologie energetiche sono ormai emblematiche dei futuri sviluppi tecnologici dei sistemi embedded: la tecnologia ormai nota come "energy harvesting" e la tecnologia dei super-condensatori o "supercap".

Nell'ambiente che ci circonda è diffusa molta energia in varie forme che deriva o da attività umane o da energie ambientali che normalmente va dispersa se non raccolta e riutilizzata. Quello che accade è che l'energia dispersa nell'ambiente si degrada spontaneamente in calore come quando la luce che irraggia una superficie si trasforma in calore convertendosi in raggi infrarossi e non essendo utilizzata essa si diffonde nell'ambiente quando la superficie si raffredda: quindi questa energia si perde e contribuisce solo all'aumento dell'entropia senza essere stata imbrigliata ed utilizzata. Tra tutte le forme di energia disponibili nell'ambiente quella che permette di ottenere harvesting energetico rilevante è quella fotovoltaica, e comunque commisurata alla superficie disponibile dei pannelli fotovoltaici, tutte le altre forme energetiche disponibili nell'ambiente consentono harvesting energetico di piccolissime frazioni di Watt e quindi necessitano di uno sviluppo dell'elettronica a supporto delle strategie di energy harvesting,

L'energy harvesting riguarda la capacità di raccogliere dall'ambiente o dallo stesso sistema oggetto dell'applicazione come per il corpo umano nel caso di applicazioni indossabili di natura medica o nel caso di mezzi in movimento con la cattura ad opera di forze di inerzia di considerevoli quantità energetiche, l'energia necessaria ad alimentare l'elettronica che di solito è a tecnologia ultra low-power; i super-condensatori sono il presupposto tecnologico perché l'energy harvesting sia effettivamente applicabile, in quanto le energie raggiungibili in modalità harvesting sono molto piccole e di natura discontinua, quindi non utilizzabili direttamente per alimentare ad esempio un sensore o un suo sistema di comunicazione. I super-condensatori, elementi fondamentali nella tecnologia dell'harvesting sono condensatori con una elevatissima capacità che si comportano contemporaneamente come dei condensatori elettrolitici e delle batterie ricaricabili, ma molto più performanti in quanto possono immagazzinare anche 100 volte l'energia per unità di volume o di massa rispetto ad un condensatore elettrolitico, e capaci di accumulare cariche elettriche con una dinamica molto superiore a quella tipica delle batterie ricaricabili e di sopportare molti più cicli di carica-scarica rispetto alle batterie ricaricabili. Questa tecnologia quindi incoraggia lo sviluppo di altre tecnologie al contorno, come quelle della microelettronica ultra low-power e quella dei supercap. Quindi qualunque forma di energia catturabile e immagazzinabile come la luce, le vibrazioni meccaniche, il suono, il movimento, la pressione, le radiofrequenze, i campi magnetici, il calore ecc... concorrono a perseguire l'obiettivo di arrivare a realizzare sensori e dispositivi autosufficienti dal punto di vista energetico.

Possiamo fare una classificazione dell'harvesting per tipologia della fonte energetica.

#### 1. L'harvesting termico

Si sfrutta la differenza di temperatura tra due superfici che trasduce una differenza di temperatura in differenza di potenziale elettrico. Questo fenomeno sfrutta l'effetto Seebeck, che risulta essere molto efficiente, in cui un semiconduttore frapposto tra due placche di metallo a differente temperatura produce una differenza di potenziale dell'ordine di alcuni microvolt per grado Kelvin. Questo harvesting si ottiene con una superficie scaldata solitamente da raggi solari e dal lato freddo una superficie con un dispersore di calore nell'ambiente. Varie aziende hanno sviluppato la tecnologia dei **Teg** "Termo electric generator" sulla base di nanotecnologie su silicio ottenendo un enorme miglioramento delle prestazioni nella generazione termoelettrica nelle applicazioni di harvesting da sorgente di calore. Questa è una tecnologia che può essere scalata tra potenze dei milliWatt ai KiloWatt.

Per le nostre applicazioni potrebbe essere invasivo e quindi poco accettato in ambienti domestici per cui salvo particolari applicazioni in cui si potrebbero sfruttare dei  $\Delta T$  rilevanti con cui si potrebbero ridurre le dimensioni dell'elemento di cattura per le applicazioni standard ha applicazioni soprattutto in campo industriale e spaziale.

## **2. L'harvesting vibrazionale**

L'energy harvesting vibrazionale non è nient'altro che un harvesting che sfrutta un moto alternativo di piccola ampiezza (vibrazione) che è un fronte di ricerca relativamente recente che coinvolge scienziati di diverse estrazioni e competenze. Ci troviamo di fronte ad una scienza che necessita di competenze eterogenee ed i team che ci lavorano sono composti da esperti di ingegneria elettrica, meccanica, elettronica e dei materiali.

Per sviluppare sistemi di energy harvesting di tipo vibrazionale è importante studiare il dispositivo secondo la sua frequenza naturale di oscillazione cioè la frequenza alla quale un sistema vibrante entra in risonanza, ossia assume la massima ampiezza di oscillazione in modo da trasferire il massimo dell'energia posseduta all'elemento piezoelettrico che funge da trasduttore.

Il fenomeno della risonanza è particolarmente evidente quando un sistema è soggetto ad una perturbazione esterna, sostenuta nel tempo, che induca una "vibrazione forzata" alla frequenza naturale del sistema stesso. E questo è proprio il caso di maggior interesse quando si parla di energy harvesting piezoelettrico: un harvester massimizza l'energia raccolta quando lavora in risonanza.

Per fare questo, si sfrutta la capacità di cui sono dotati certi materiali (ad esempio il quarzo), per la quale essi sono in grado di generare una tensione elettrica, se sottoposti ad una deformazione meccanica e viceversa. Questi materiali possiedono una struttura cristallina simmetrica (simmetria assiale, non centrale) che in stato di quiete garantisce la neutralità elettrica; uno sforzo applicato esternamente induce una deformazione della cella cristallina, la quale si polarizza generando una differenza di potenziale (la polarità dipende dal tipo di sforzo – trazione o compressione).

La progettazione di un dispositivo piezoelettrico efficace per harvesting passa per la scelta del materiale, per lo studio dell'orientazione ottimale dei cristalli ed infine per la realizzazione della tecnologia migliore per raccogliere le vibrazioni e convertirle. Ogni passaggio prevede un'accurata attività di modellizzazione numerica, nonché di simulazione delle risposte statiche, dinamiche ed elettriche del dispositivo che si vuole realizzare, per assicurarsi che esso vada poi a lavorare alla propria frequenza di risonanza. Questo consente di massimizzare l'energia raccolta.

Questa forma di Harvesting è interessante anche per applicazioni domestiche ma la sua complessità e la non ancora piena maturità della tecnica e degli sviluppi non la vedono ancora pesantemente applicata.

## **3. L'harvesting da movimento**

In genere in sistemi che si muovono, ad esempio porte, finestre o comunque tutto ciò che spesso è soggetto a movimento, sfruttando piccoli magneti che si muovono in solenoidi, si genera una fem indotta che può essere immagazzinata con metodi e tecniche già discusse. Sono sicuramente sistemi che possono essere applicati solo in particolari situazioni ma che hanno una discreta capacità di catturare energia.

## **4. L'harvesting da pressione**

Spesso si usa l'effetto piezoelettrico che trasduce, con il già discusso effetto piezoelettrico, una pressione meccanica in ddp che viene poi immagazzinata con le solite tecniche di cattura e di stoccaggio. Ad esempio si sfrutta il calpestio su appositi tappetini, ecc... e comunque sempre laddove si ha a disposizione una

compressione e decompressione frequente del dispositivo catturante. Anche questa tecnica è molto efficiente e si può recuperare anche quantità sensibili di energia se il sistema di cattura è installato in luoghi ottimali.

## **5. L'harvesting fotovoltaico**

L'harvesting fotovoltaico, essendo la tecnica più efficiente in quanto sfrutta grosse quantità di energia, cioè la cattura e conversione diretta dell'energia della luce in energia elettrica, è senza dubbio la tecnologia più diffusa e su cui si è investito molto per ottenere la massima efficienza possibile al più basso costo e minori dimensioni possibili.

Essa è principalmente utilizzata per le elevate potenze elettriche, l'harvesting fotovoltaico è sempre stato di grande interesse per l'elettronica e la microelettronica per realizzare sistemi di backup dell'alimentazione indipendenti dal tempo, sono state studiate applicazioni di spessore molto esiguo ottenendo la massima efficienza e riducendo anche i costi di produzione. Sono state anche utilizzate le nanotecnologie per ottenere celle fotovoltaiche estremamente sottili, anche flessibili e estremamente leggere che, con un approccio ingegneristico biomimetico ha consentito di ottenere un sistema di harvesting fotovoltaico simile a quello delle foglie delle piante.

## **6. L'harvesting indossabile**

Sono state sviluppate strutture 3D di tessuto per indumenti con capacità di harvesting elettrico piezoelettrico che, utilizzato per confezionare indumenti, porterebbe alla realizzazione di sistemi di harvesting piezoelettrici indossabili e utilizzabili per ricaricare durante il movimento strumenti come smartphone, dispositivi elettromedicali o sistemi di illuminazione per la sicurezza in ambienti non illuminati. Questo risultato lancia una nuova generazione di prodotti di energy harvesting indossabili che rivoluzioneranno completamente il modello di alimentazione elettrica dei dispositivi elettronici. In domotica potrebbero essere implementati su tendaggi o su coperture di sedie o divani, tappeti e comunque laddove si producono delle continue e ripetute deformazioni.

### **2.1.1 Il Power Management**

L'importanza di una attenta progettazione di elettronica low power ha almeno pari valore se non maggiore dei sistemi di energy harvesting per la ricerca e cattura dell'energia stessa. Poter progettare un sistema che tiene conto dei cicli di lavoro dei dispositivi, dei rispettivi cicli di recupero energetico con harvesting, e di utilizzo. Inoltre studiando protocolli e strategie di trasferimento dei dati, ad esempio di un sensore che trasmetterà le sue informazioni cadenzate nel tempo e solo se vi è stata una modifica della grandezza rilevata, può sicuramente abbattere il fabbisogno energetico e può sicuramente ottimizzare lo sfruttamento di ciò che si dispone. La cooperazione quindi di più interventi progettuali porta come risultato alla riduzione del fabbisogno energetico del dispositivo con conseguente avvicinamento alla quota di energia che il sistema riesce a recuperare con energy harvesting raggiungendo il target di alimentare i nodi di una disposizione strumentale con l'energia "racimolata" in giro per casa.

### **2.1.2 Gli ambienti di sviluppo per la progettazione di sistemi di energy harvesting**

Uno strumento importante nella progettazione di sistemi di energy harvesting è il sistema di sviluppo con il quale si può verificare la scelta progettuale della tipologia di harvesting nella specifica applicazione, verificarne l'efficienza, la capacità produttiva e quindi avere un vaglio ancora in fase di studio e sviluppo.

I lavori svolti durante questo breve periodo hanno consentito l'interiorizzazione dei concetti di energy harvesting, hanno consentito di acquisire le competenze e le conoscenze di una tecnica che nel prossimo futuro avrà sempre più centralità nella progettazione di sistemi distribuiti come soprattutto i sensori e gli attuatori.

Il laboratorio sviluppo sensori dell'ENEA dispone di una piattaforma di sviluppo per energy harvesting della Würth che in collaborazione con Linear Technology ha realizzato questo importante Strumento che consente di aiutare nella progettazione e quindi testare, provare e collaudare svariate fonti di energy harvesting.

Le due fotografie seguenti riportano questa piattaforma che sarà molto utile nel prosieguo di questa attività che ha come obiettivo quello di studiare un'architettura multi-harvesting per uso in-door.

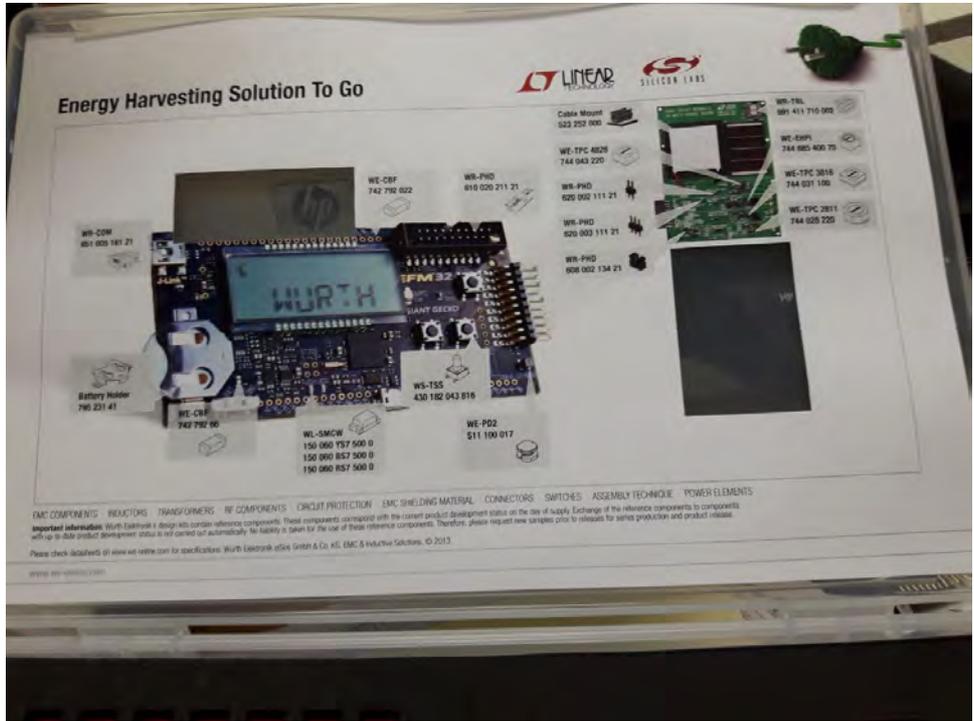


Figura 1. Descrizione della piattaforma di sviluppo dei seguenti harvester. Solar Cell, Peltier Element, Piezo Element, Inductive Generator



Figura 2. Scheda elettronica del sistema di sviluppo di harvesting

### 2.1.3 L'harvesting ottimale per i sensori acustici

I sensori acustici sono chiamati spesso a lavorare per trasferire le trasduzioni, onde di pressione/segnale elettrico, alla centrale di elaborazione dati dove sono svolte le elaborazioni per individuare la localizzazione e la tipologia della sorgente di rumore. Questa constatazione comporta il fatto che questi sensori possono essere molto energivori soprattutto per il lungo periodo di utilizzo e non sono possibili strategie di bifferizzazione dei dati da trasmettere in quanto verrebbe meno tutta la procedura di trattamento "real time" relativa.

Per questa applicazione si sta approntando una architettura di harvesting che fa riferimento a un multi-harvesting con una batteria tampone ricaricabile o meglio un super-condensatore. Sarà oggetto di studi e sperimentazioni provare le strade individuate in questa fase ricognitiva delle offerte tecnologiche nel campo del recupero di energie disperse.

## 2.2 Sistemi di energy harvesting per l'alimentazione dei sensori acustici

In collaborazione con l'Università di Roma Tre, Dipartimento di Ingegneria è stata effettuata la valutazione dell'applicazione di metodologie di energy harvesting ai sensori acustici in sistemi smart home, come descritto nel Report RdS/PAR2018/024 già studiati e sviluppati nell'ambito di una precedente attività dal titolo "Integrazione di sensori acustici in sistemi smart home ed implementazione di algoritmi per l'individuazione e la localizzazione di segnali acustici"[2]. Nella suddetta attività, questi sensori acustici furono pensati e studiati in un'ottica di realizzazione a basso costo, mantenendo però la possibilità di implementazione di algoritmi innovativi per applicazioni smart home: idealmente possono essere impiegati per la segnalazione di allarmi o comandi, oppure per l'individuazione di rumori o segnali acustici specifici al fine di migliorare la qualità dell'ambiente domestico. Questi sensori acustici e le loro specifiche funzionalità sono stati il punto di partenza della attività di ricerca descritta di seguito.

Il punto di partenza dell'attività di ricerca è stato il sensore acustico messo a punto nell'ambito dell'attività precedente. La principale funzionalità del sensore, ossia la possibilità di localizzare le sorgenti acustiche presenti nell'ambiente, richiede sia l'implementazione di algoritmi nella scheda di controllo, sia che questa stessa scheda alimenti e gestisca almeno una coppia di sensori distribuiti nell'ambiente. In particolare, in una prima fase sono stati considerati gli aspetti relativi ai consumi della scheda di controllo, realizzata tramite una scheda a microcontrollore tipo Arduino Uno. Questa scheda gestisce due sensori acustici realizzati con un capsula microfonica a condensatore, dotati ciascuno di un piccolo sistema di amplificazione a transistor. Nella seconda fase, sono stati valutati i sistemi di energy harvesting utilizzabili in ambito home automation (celle piezoelettriche, fotovoltaiche e termiche) nonché i sistemi di alimentazione da utilizzare per sfruttare al meglio tali tecnologie.

### 2.2.1 Studio dei consumi del sensore acustico intelligente per smart home.

La valutazione dei consumi relativi alla scheda di controllo dei sensori acustici è avvenuta sia a partire dai dati di targa dei sistemi utilizzati, sia mediante misurazioni in laboratorio durante le condizioni di funzionamento standard. In particolare, si è tenuto in conto delle problematiche relative all'alimentazione della scheda Arduino Uno nell'ambito di un sistema stand-alone. Infatti in queste condizioni la scheda Arduino non riceverà l'alimentazione tramite USB, ma potrà essere alimentata o tramite una batteria da 9 V o tramite un sistema ad hoc. Dai dati di targa e dalle nostre esperienze in laboratorio si è ricavato che in normali condizioni di funzionamento, alimentando la scheda Arduino tramite il connettore predisposto ed una batteria da 9 V, l'assorbimento di corrente si attestava intorno ai 50 mA, a cui si andavano ad aggiungere poco meno di 2 mA per ogni amplificatore a BJT adottato per ciascun microfono a capsula collegato. Una situazione simile si verifica nel caso di alimentazione tramite USB. Al fine di ridurre i consumi, sono state inoltre esaminate diverse possibili soluzioni tra le quali l'eliminazione di alcune funzionalità della scheda Arduino Uno che non vengono allo stato attuale utilizzate (ad esempio quella della comunicazione via USB, di alcuni LED attivi sulla

scheda), e soprattutto l'utilizzo di un'alimentazione diretta regolata a 5 V o a 3.3 V tramite sistemi dedicati (di seguito discussi), in modo da disabilitare i regolatori presenti sulla scheda, che sono tra gli elementi che maggiormente influenzano l'assorbimento di corrente. Questo permette di ridurre notevolmente l'assorbimento di corrente fino a portarlo a circa 20 mA. Una ulteriore riduzione può essere ottenuta implementando una modalità di stand by. Infatti le schede Arduino prevedono per il microcontrollore una modalità sleep a ridotte funzionalità, nella quale il consumo del microcontrollore scende al valore di qualche mA. Nel nostro caso, il sistema può mettersi in stand by in assenza di rumore ambientale. Per il risveglio del sistema dallo standby in questo caso è stata valutata la possibilità di sfruttare un terzo sensore acustico a capsula microfonica, collegato però ad un dispositivo a soglia regolabile. Questa scelta, sebbene permetta di ridurre i consumi, aumenta marginalmente il costo del sistema (sensori di questo tipo sono disponibili sul mercato al costo di qualche euro). Si è infine valutato anche l'impatto dell'amplificatore e la possibilità di usare, al posto del circuito da noi progettato, un circuito di amplificazione standard basato sull'integrato LM386. Purtroppo questa soluzione non riduce l'assorbimento di corrente, in quanto anche in assenza di segnale il circuito integrato LM386 assorbe più di 4 mA, ossia più di quanto assorbono i due sistemi di amplificazione da noi adottati. Ulteriori dettagli sui possibili sviluppi vengono presentati nella relazione completa.

### 2.2.2 Soluzioni di energy harvesting

In una seconda fase dell'attività sono state invece esaminate delle soluzioni di energy harvesting che contribuiscano all'alimentazione del sistema. Si è partiti da un'ampia analisi sui diversi sistemi disponibili e/o utilizzabili (celle fotovoltaiche, piezoelettriche o termiche e possibili loro combinazioni), che vengono di seguito esaminati, assieme all'hardware necessario per interfacciamento del sensore acustico con tali sistemi.

- **Celle piezoelettriche**

L'harvesting da sollecitazioni meccaniche può essere fatto mediante celle piezoelettriche. Queste si presentano come fogli sottili (da qualche micron a qualche decimo di millimetro) in grado di generare una corrente elettrica in seguito ad una pressione o vibrazione. Possono essere vendute con o senza involucro e trovano la loro maggiore applicazione nell'ambito della sensoristica. Al di fuori di questo ambito, essendo questi dispositivi dei piccoli generatori a tutti gli effetti, possono essere sfruttati come elementi per l'energy harvesting. Sono stati quindi oggetto di analisi come possibili elementi da utilizzare per il supporto all'alimentazione del sensore acustico. In particolare sono state prese in considerazione e testate due diverse tipologie di celle: una in PVDF (polivinilidene fluoruro) in film sottile con dimensioni 5 cm x 5 cm con spessore micrometrico e contatti metallici su entrambe le facce; una composta da un polimero ceramico, denominata DuraAct™ Piezoelectric Patch Transducer (876.A12), dello spessore di qualche decimo di millimetro e di dimensioni circa 3 cm x 5 cm. I test effettuati su entrambe le tipologie di celle hanno mostrato un basso trasferimento energetico. Inoltre, sono stati riscontrate notevoli problematiche di interfacciamento elettrico, dovuto ai livelli di tensione in output (sotto un volt) e alla necessità dell'uso di raddrizzatori, in quanto la tensione in uscita si presenta come un serie di impulsi sia positivi che negativi. Se si considera il costo proibitivo di queste celle (ciascuna sui 100 euro), risulta chiaro che tali sistemi mal si prestano all'utilizzo come energy harvester nel nostro caso. Ulteriori dettagli sono forniti nella relazione completa.

- **Celle termiche (effetto Peltier / effetto Seebeck)**

L'harvesting energetico da sollecitazioni termiche può avvenire tramite l'uso di celle termoelettriche. I generatori termoelettrici, come ad esempio quello da noi considerato ossia l'SP1848-27145, non sono altro che strutture multi-layer che sfruttano gli effetti Peltier o Seebeck per funzionare come una sorta di pompa di calore e/o di generatore elettrico. Dal punto di vista pratico è una sorta di termocoppia, ma costituita da due facce, una da collegare ad una superficie calda e l'altra ad una superficie ad una temperatura più bassa. L'energia prodotta è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura tra le due facce. Nel caso specifico della cella SP1848-27145, troviamo in uscita una tensione in continua fino a 4.8 V, con una corrente massima erogabile di 669mA. Le dimensioni del dispositivo sono 40 x 40 x 4mm. Dal punto di vista modellistico, la cella ha una caratteristica che dipende notevolmente dalla differenza di temperatura, e richiede un gradiente termico di oltre 20 gradi per ottenere in uscita una tensione superiore ad 1 Volt. Sebbene i costi siano contenuti, in quanto il costo per il singolo dispositivo è tra 3 e 4 euro, la necessità di

disporre di una superficie calda per il suo funzionamento ne limita l'applicazione al caso in esame. Ulteriori dettagli sono forniti nella relazione completa.

- **Celle fotovoltaiche**

L'harvesting da sorgenti luminose consiste nello sfruttare la conversione fotovoltaica per trasformare in energia elettrica la luminosità funzionale che hanno gli ambienti indoor. In ambiente domestico l'illuminamento è generalmente compreso tra 100-200 Lux, per raggiungere 500 Lux in ambienti lavorativi. In termini di irradianza, anche su un banco di lavoro ben illuminato, si raggiungono difficilmente più di 50W/m<sup>2</sup>. Queste quantità sono estremamente più basse di quelle relative all'illuminazione naturale da sorgente solare (1000W/m<sup>2</sup> di irradianza), e per questo motivo, la conversione fotovoltaica deve essere effettuata con dispositivi specificamente pensati per questo genere di applicazioni. In particolare, la tecnologia del silicio amorfo (a-Si), usata per la realizzazione di celle fotovoltaiche a film sottile, è di particolare interesse. Le caratteristiche elettriche della conversione fotovoltaica del a-Si sono in generale inferiori rispetto a quelle ottenute con dispositivi basati sul silicio cristallino. Tuttavia i processi tecnologici usati per la creazione di dispositivi in a-Si permettono di realizzarli con spessori estremamente sottili. Sovrapponendo più strati sottili è possibile creare delle celle fotovoltaiche in cui ogni strato è dedicato allo specifico assorbimento di una lunghezza d'onda, migliorando quindi l'efficienza spettrale del dispositivo. Questa caratteristica è estremamente importante per applicazioni indoor, dove la radiazione luminosa ha uno spettro concentrato in righe molto strette (dovuto a lampade a led e a fluorescenza). I produttori di dispositivi fotovoltaici forniscono degli specifici prodotti per applicazioni indoor. In particolare, la Sanyo Semiconductors ha una linea di dispositivi a-Si di piccole dimensioni (serie Amorton) che sono stati ingegnerizzati per dare la miglior risposta spettrale in condizioni di illuminazione artificiale. A seconda delle necessità in termini di tensione e corrente, e dello spazio a disposizione, sono disponibili una ampia gamma di scelte. Questi sistemi sono sicuramente idonei per l'applicazione per i sensori acustici e quindi sono stati considerati nell'ambito del dispositivo complessivo di alimentazione in termini di sorgente fondamentale di energia. Di seguito analizzeremo il sistema di alimentazione studiato nel complesso, mentre ulteriori dettagli sulla cella fotovoltaica sono riportati nella relazione completa.

### 2.2.1 Sistemi di alimentazione da energy harvesting

Il sistema di alimentazione da energy harvesting pensato è costituito da una piccola cella fotovoltaica, connessa ad un circuito specifico per questo tipo di applicazioni. Infatti, per ottenere l'innalzamento di tensione da valori tipici di sorgenti energy-harvest (1-2V) ai 5V stabilizzati necessari per l'alimentazione dei dispositivi a microcontrollore è necessario l'utilizzo di un convertitore step-up. Questi convertitori sono implementati in schede integrate fornite di un sistema di switching (spesso di tipo monolitico, implementato in un integrato dedicato), la circuiteria discreta necessaria per il suo funzionamento (tipicamente induttori e condensatori) e due porte di accesso, una a bassa tensione (di ingresso), una USB a 5V (di uscita). In particolare, una scheda usata in laboratorio è basata sul sistema di switching per step-up CE8301. Un'alternativa può essere data da un sistema basato sull'integrato LTC3588 della Linear Technologies. In questo caso per i test di laboratorio è stata usata la scheda di sviluppo SparkFun Energy Harvest. Questo dispositivo implementa al suo interno diversi sotto-sistemi al fine di offrire una soluzione completa ed integrata per energy harvesting a partire da sorgenti ad alta impedenza di uscita, quali sistemi piezoelettrici, magnetici o fotovoltaici. Chiaramente il sistema deve immaginarsi alimentato da una batteria. È quindi conveniente, a partire dai sistemi descritti, prevedere lo sviluppo di un circuito ad hoc, basato sui dispositivi citati che gestisca la carica della batteria. Inoltre va anche considerata la possibilità di utilizzare un supercondensatore in congiunzione alla batteria, per permettere una migliore gestione del sistema stesso e soprattutto garantire una maggiore durata della batteria. La valutazione dell'aggiunta del supercondensatore è ovviamente da considerare in relazione ad un ulteriore aumento del costo della scheda. Ulteriori dettagli vengono presentati nella relazione finale.

### 2.2.3 Conclusioni

Purtroppo l'impatto sui costi del sistema di energy harvesting non è trascurabile, portando nel caso migliore al raddoppio del costo dell'intero sistema, o quanto meno del sistema inteso nella sua versione base, alimentato da batterie standard e quindi senza particolari specifiche tecniche. Inoltre, l'adozione del sistema di energy harvesting prevede l'adozione di batterie ricaricabili, e quindi l'aggiunta di elementi che ne complicano la progettazione. Tuttavia, questo garantisce una durata maggiore dell'alimentazione e una

minore manutenzione del sistema. L'unica alternativa possibile ed economica, ossia la rinuncia all'alimentazione autonoma, prevede cablaggi ed alimentazione esterna con ulteriori vincoli nell'uso.

### *2.3 Valutazione e studio dei sistemi di interfaccia innovative, tipo robot umanoidi, in grado di aumentare la usabilità dei sistemi smart home ed agevolarne l'uso agli utenti fragili*

Le attività condotte dal Laboratorio Intelligenza Distribuita e Robotica per l'Ambiente e la Persona dell'ENEA e dal DII - Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli studi "Tor Vergata" per il PAR 2018 hanno riguardato i sistemi di interfaccia innovative, tipo robot umanoidi, in grado di aumentare l'usabilità dei sistemi presenti all'interno di una Smart Home per gli utenti con fragilità.

Gli utenti fragili come ad esempio gli anziani o le persone con deficit cognitivi, anche lievi, possono avere la necessità di sistemi in grado di facilitare l'interazione con la tecnologia ed aumentarne l'usabilità.

Un robot che deve relazionarsi con le persone è un dispositivo in grado di percepire, elaborare informazioni sensoriali ed eseguire azioni che forniscono aiuto o supporto ad un utente umano.

Questi tipi di robot sono progettati per lavorare a stretto contatto con le persone in modo sicuro ed efficiente, e vengono progettati per aggiungere valore alla vita delle persone aiutando, curando, insegnando e divertendo coloro con cui interagiscono quotidianamente.

Un robot umanoide ha in più la capacità di interagire in modo naturale e secondo i normali canali di comunicazione che le persone sono abituate ad utilizzare tra di loro.

Un robot umanoide può adattarsi al contesto cercando di capire quali sono i desideri dell'utente, le sue capacità di comprendere e relazionarsi con la tecnologia, le sue esigenze pratiche, le abitudini della vita quotidiana e le modalità di abitare la casa.

Come detto, questo tipo di robot può offrire all'utente diverse modalità di interazione per riceverne i comandi o per dare informazioni, adeguandosi a quella che meglio si adatta alle abilità, anche di tipo residuale, della persona.

Un aspetto negativo di questi robot è che hanno delle limitazioni nelle loro capacità e funzionalità, a causa di una limitata dotazione sensoriale e computazionale di bordo. Questo aspetto incide fortemente anche sulla qualità e sull'efficacia dell'interazione con l'utente.

Per superare queste limitazioni si è pensato di utilizzare le risorse messe a disposizione dai servizi cloud di Intelligenza Artificiale disponibili online.

È stato implementato l'interfacciamento del robot umanoide NAO con uno di questi servizi, aumentando considerevolmente la percentuale di parole correttamente riconosciute.

Si è così ottenuto un notevole miglioramento delle capacità native del robot di riconoscere il parlato di una persona, e quindi, più in generale, dell'efficacia dell'interazione uomo-macchina.

Nell'ambito delle attività del PAR 2018 l'ENEA ha affidato al Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli studi "Tor Vergata" una attività per la realizzazione di una ricerca riguardante la valutazione e lo studio dei sistemi di interfaccia innovative, tipo robot umanoidi, in grado di aumentare la usabilità dei sistemi smart home ed agevolarne l'uso agli utenti fragili (per maggiori dettagli si veda il Report RdS/PAR2018/025).

In particolare, l'attività di ricerca ha permesso di individuare, tra quelle disponibili sul mercato e altre sviluppate nell'ambito di centri di ricerca, alcune piattaforme robotiche di tipo umanoide (o antropomorfe) il cui utilizzo potrebbe risultare interessante nell'ambito del supporto ad un'utenza "fragile".

Si parla di robot umanoidi per riferirsi ad una tipologia di piattaforma robotica le cui fattezze sono basate su quelle di un corpo umano. In generale, questi robot presentano un tronco, una testa, due braccia e due gambe anche se, talvolta, le fattezze umane sono riferite alla sola parte superiore mentre, nella parte inferiore, le gambe sono sostituite con delle ruote che permettono una più agevole gestione degli spostamenti. Talvolta, queste macchine presentano, nella testa, anche bocca, naso e occhi.

Il problema dell'accettabilità dello strumento informatico da parte di utenti fragili dipende molto dalle caratteristiche presentate dalla sua interfaccia.

Quindi, se da un lato l'utilizzo, in un contesto di supporto ad utenti fragili, di macchine con tali caratteristiche è sicuramente un valido strumento nell'ottica di migliorare il tasso di accettabilità del sistema, dall'altro è

assolutamente necessario che la sua interfaccia utente sia adeguata alle specifiche caratteristiche e criticità dell'utente.

L'attività di ricerca è stata suddivisa in due parti:

1. Analisi sullo stato dell'arte dei diversi robot umanoidi e del loro utilizzo all'interno di ambienti domestici.
2. Studio degli aspetti legati all'uso di queste piattaforme come dispositivi di interfaccia utente di tipo multimodale e dei servizi cloud di Intelligenza Artificiale.

### 2.3.1 Analisi sullo stato dell'arte di robot umanoidi

Lo studio è stato effettuato sia su robot di tipo umanoide già presenti sul mercato che per quelli in fase di studio nell'ambito della più avanzata ricerca tecnologica; sono state individuate le principali caratteristiche che un tale robot deve presentare per poter essere accettato ed utilizzato facilmente anche da parte di un'utenza fragile.

La ricerca effettuata ha permesso di individuare alcune piattaforme robotiche mostrate in Figura 1 delle quali, una è stata realizzata da un istituto di ricerca (IIT Genova) e le altre da differenti produttori (UBTECH Robotics, ROBOTIS Co.,Ltd, SoftBank Robotics Holdings Corp, Honda, Fujitsu e Sanbot Innovation Technology Ltd).

Queste presentano differenti dimensioni, peso e caratteristiche che le rendono utilizzabili in ambiti differenti.

			
<b>Alpha 1 Pro</b>	<b>Lynx</b>	<b>ROBOTIS-OP2</b>	<b>Icub</b>
			
<b>ROMEO</b>	<b>NAO6</b>	<b>PEPPER</b>	<b>Asimo</b>



**Figura 3. Alcuni robot umanoidi**

Una prima grossolana caratterizzazione può essere effettuata semplicemente in base al loro peso (Tab. 1).

**Tabella 1. Caratterizzazione per peso**

Peso < 6 kg	10 < Peso < 30 kg	Peso > 35 kg
<b>Alpha 1 Pro</b>	PEPPER	Asimo
<b>Lynx</b>	Icub	Sanbot Max
<b>ROBOTIS-OP2</b>	Nano	ROMEO
<b>NAO 6</b>	Elf	Enon

Questo permette di individuare tre diversi gruppi di macchine:

- Un primo gruppo di macchine “leggere” che presentano un peso al di sotto dei 6kg che rappresenta un tipo di robot con limitate capacità di carico e che è possibile utilizzare per scopi ludici, di laboratorio e per applicazioni che, tipicamente, non richiedono trasporto di materiale.
- Un secondo gruppo di macchine “intermedie” che presentano un peso tra i 10 e i 30 kg e che rappresenta un tipo di robot con discrete capacità di carico e che è possibile utilizzare per applicazioni dove è necessario il trasporto di materiale ma non sono richieste elevate prestazioni in termini di carico massimo trasportabile.
- Un terzo gruppo di macchine “pesanti” che presentano un peso superiore ai 35 kg che è costituito da robot con elevate capacità di carico

### 2.3.2 Studio degli aspetti legati all'uso di robot umanoidi come dispositivi di interfaccia utente di tipo multimodale e dei servizi cloud di AI.

L'attività di ricerca ha permesso di analizzare le capacità, da parte di questa tipologia di piattaforme robotiche di tipo umanoide, di stabilire interazioni efficaci con una persona attraverso l'utilizzo dei diversi canali di comunicazione a loro propri con l'intento di veicolare nel modo più adeguato l'informazione verso il canale sensoriale maggiormente significativo per l'utente.

In particolare l'attività svolta in questa fase ha avuto l'obiettivo di studiare il possibile miglioramento delle capacità sensoriali e operative del robot umanoide NAO in dotazione al Laboratorio di Intelligenza Distribuita e Robotica per l'Ambiente e la Persona dell'ENEA.

Al fine di aumentare le capacità di questo particolare robot è stato studiato l'uso di opportune risorse messe a disposizione dai servizi cloud di Intelligenza Artificiale disponibili online, alcuni anche gratuitamente.

Esistono numerosi servizi cloud di Intelligenza Artificiale online, tra cui i più utilizzati sono quelli offerti da Google, da Microsoft e dall'IBM.

## 2.4 Miglioramento delle capacità del parlato del robot NAO

La Socially Assistive Robotics (SAR) è un'area di ricerca in grande crescita in questi anni con potenziali benefici, tra gli altri, nella cura delle persone fragili come gli anziani, nell'educazione, per le persone con disturbi sociali e cognitivi e per la riabilitazione. La SAR è una disciplina che si pone all'intersezione di due branche della robotica, la *robotica assistiva*, che si concentra sui robot il cui obiettivo principale è l'assistenza e la *robotica sociale interattiva*, che si occupa dei robot che pongono l'attenzione principalmente sull'interazione sociale con le persone.

Un robot utilizzato nella SAR è un dispositivo in grado di percepire, elaborare informazioni sensoriali ed eseguire azioni che forniscono aiuto o supporto ad un utente umano; questi tipi di robot sono progettati per lavorare a stretto contatto con le persone in modo sicuro ed efficiente, e vengono progettati per aggiungere valore alla vita delle persone aiutando, curando, insegnando e divertendo coloro con cui interagiscono quotidianamente.

Molti di questi robot, tuttavia, hanno grosse limitazioni nelle loro funzionalità a causa di una limitata capacità sensoriale e computazionale di bordo. Anche l'interazione con l'utente spesso non è particolarmente efficace, a causa di queste limitazioni nella capacità di elaborare l'informazione audio/video. Per superare questo genere di limitazioni negli ultimi anni si sta affermando la *Cloud Robotics* grazie alla quale attraverso il collegamento del robot a risorse che si trovano su cloud, è possibile per esso accedere a grandi potenze di calcolo, algoritmiche complesse oppure a basi dati (grezzi o pre-elaborati) provenienti da sensori esterni localizzati nell'ambiente circostante.

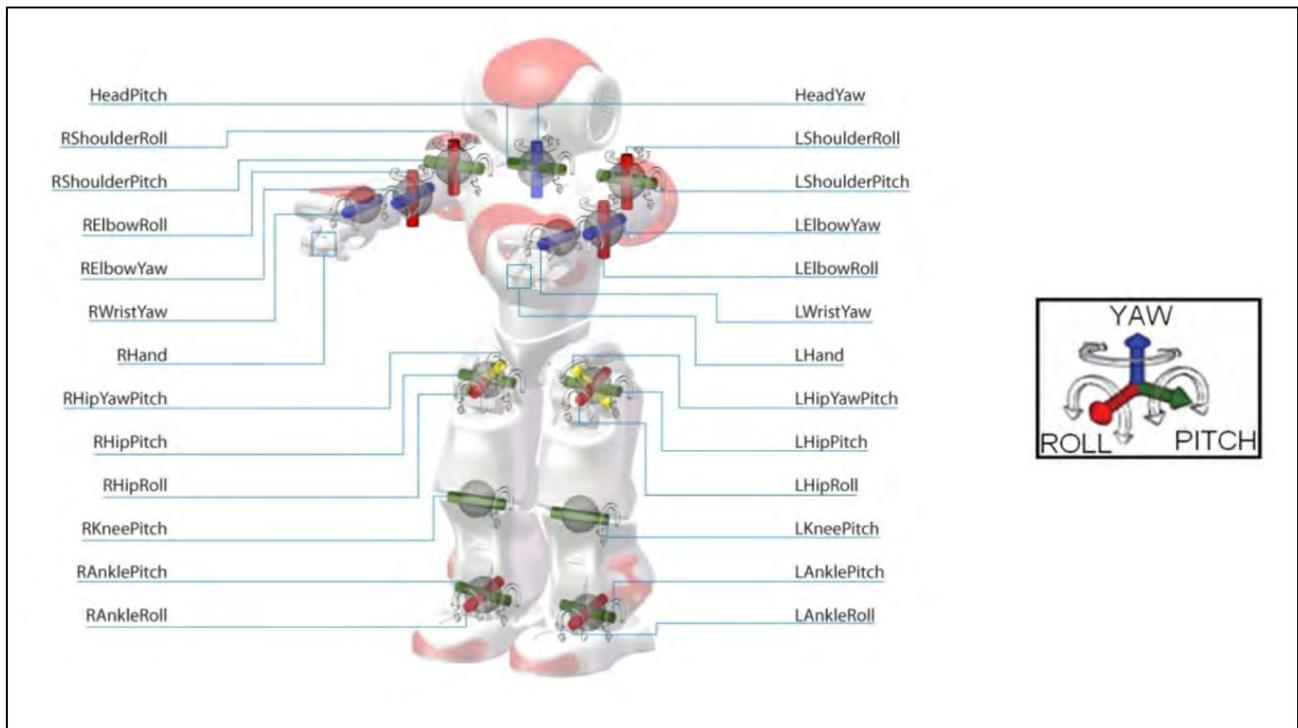
In questo quadro, il Laboratorio Intelligenza Distribuita e Robotica per l'Ambiente e la Persona dell'ENEA ha condotto, nell'ambito del PAR 2018, attività di ricerca per aumentare le capacità dei robot che ha in dotazione, attraverso un interfacciamento con risorse computazionali ed algoritmiche esterne ai robot stessi, dove può essere, ad esempio, deviata una elaborazione massiccia o essere predisposta la condivisione di dati, comportamenti e conoscenza.

Tra queste risorse esterne cui è possibile accedere, sono di particolare interesse i servizi di Intelligenza Artificiale online.

Questi servizi dispongono, come è ovvio, di potenze di calcolo infinitamente superiori a quelle disponibili a bordo di un robot. Inoltre, gli algoritmi di elaborazione del segnale utilizzati sono estremamente avanzati ed in continuo aggiornamento e, infine, questi utilizzano enormi database continuamente popolati dalle centinaia di migliaia di utenti che utilizzano giornalmente questi servizi.

### 2.4.1 Il Robot NAO

Tra i molti robot attualmente disponibili che possono essere utilizzati nel contesto della SAR, il robot antropomorfo NAO sviluppato dalla *Aldebaran Robotics* ed ora prodotto dalla giapponese *SoftBank Robotics* sta giocando un ruolo chiave in molti laboratori di ricerca nel mondo.



**Figura 4. Il sistema di giunti del robot NAO**

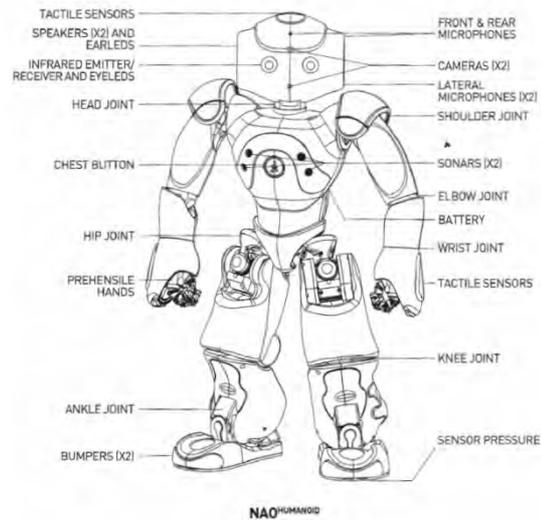
NAO è un robot umanoide piuttosto realistico e naturale nei movimenti. Grazie ad un complesso sistema di giunti, l'intero corpo del robot può muoversi completamente con ben 25 gradi di libertà.

Questo robot antropomorfo è dotato di una sua piattaforma di programmazione per sviluppare nuove applicazioni e comportamenti in ambiente Linux/Windows/MAC; la piattaforma è compatibile con numerosi linguaggi di programmazione, tra i quali i più utilizzati sono MatLab, Java, Python, C++, .NET, MS Robotics Studio, etc.

NAO è alto circa 60 cm, pesa poco più di 5 kg e può afferrare degli oggetti, spostarsi, esplorare l'ambiente che lo circonda ed interagire con le persone. Il robot ha a bordo un processore ATOM e un sistema operativo integrato Linux.

Si tratta di un robot autonomo e completamente programmabile, con una centrale inerziale a cinque assi, sensori video, audio, tattili etc. ed un sistema multimediale evoluto.

NAO ha un framework appositamente progettato, il *NAOqi*, attraverso il quale è possibile accedere agli attuatori e ai sensori a bordo del robot.



**Figura 5. Il robot NAO ed i suoi sensori di bordo**

Questo framework permette di eseguire semplici chiamate attraverso le quali accedere ai singoli dati dei sensori, eseguire comportamenti come sedersi, alzarsi in piedi, camminare, etc. oppure parlare, riprodurre file audio, etc.

#### 2.4.2 Principi di funzionamento di NAOqi

NAOqi è il framework di programmazione utilizzato per programmare e controllare il robot NAO nella sua interezza: processi, memoria, motori, sensori e comportamenti. Funziona a bordo del robot e gestisce le più comuni esigenze di programmazione che si incontrano in robotica, come ad esempio l'allocazione delle risorse, la sincronizzazione degli eventi ed il multithreading.

NAOqi si occupa di gestire in modo omogeneo le comunicazioni tra tutti i diversi moduli che operano nel robot, quelli che si occupano del movimento, dei sensori di bordo, etc.

NAOqi può essere usato con diversi sistemi operativi (Windows, Linux, MacOS) dove è possibile far eseguire i programmi con i quali sviluppare i comportamenti del robot. Il software può essere scritto in linguaggi diversi, come il C++ ed il Python, ma in ogni caso i metodi che il programma software utilizza sono gli stessi. Da quanto detto appare evidente il grande livello di astrazione del framework NAOqi che permette di gestire il robot come una cross-platform programmata con cross-languages.

Grazie a queste caratteristiche, il framework NAOqi può gestire in tempo reale sia l'esecuzione di un singolo programma che diversi processi e/o moduli distribuiti su diversi robot; tutto sempre con gli stessi metodi e chiamate.

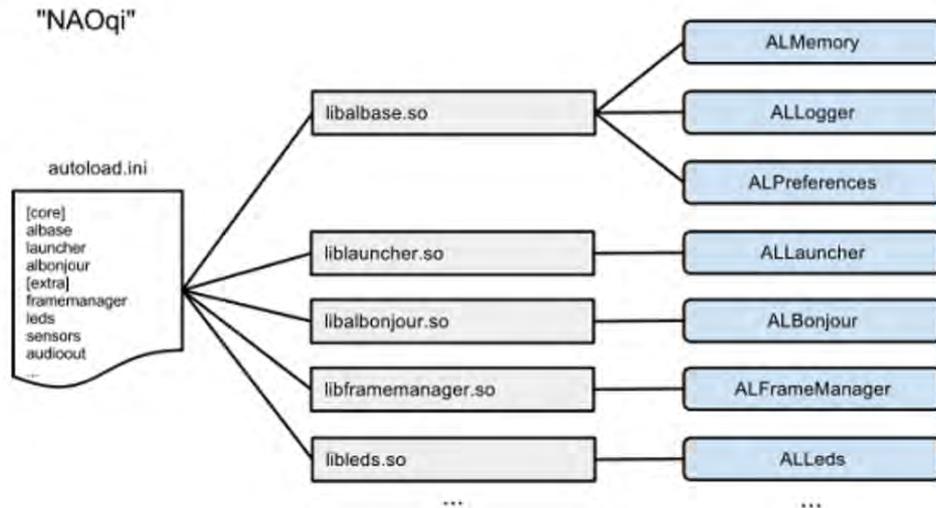


Figura 6. Funzionamento di NAOqi

Il programma eseguibile che gira sul robot è detto broker. All'avvio, questo programma carica un file di preferenze chiamato autoload.ini all'interno del quale sono definite le librerie da caricare in memoria. Ogni libreria contiene uno o più moduli che utilizzano il broker per pubblicare i metodi.

Il broker fornisce e gestisce anche i servizi di ricerca interni in modo che un modulo (sia che sia all'interno della struttura locale che attraverso la rete) possa trovare (e operare) un qualsiasi metodo che sia stato pubblicato. Ciascun modulo che può essere utilizzato è collegato sia ad un broker che ad un insieme di metodi, che definiscono nel dettaglio le procedure da eseguire.

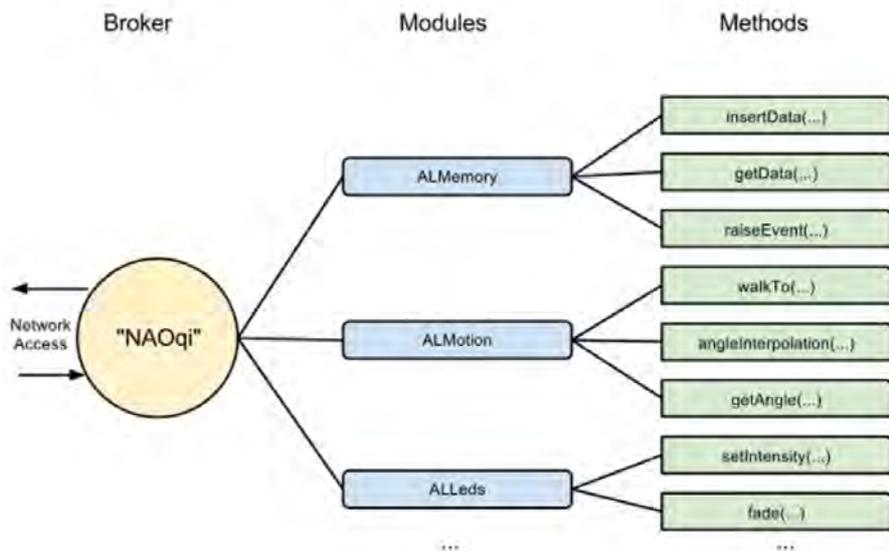


Figura 7. Dipendenze dei metodi

Descriviamo ora brevemente alcuni oggetti che vengono utilizzati per programmare il robot NAO.

### Broker

Un broker è un oggetto che fornisce:

- Servizi di indirizzamento delle informazioni: consente di trovare moduli e metodi.

- Accesso alla rete: consente di accedere a dei metodi (definiti nei moduli collegati) esterni al processo in funzione.

I broker vengono gestiti in modo trasparente per l'utente. Si può quindi scrivere il proprio codice indipendentemente dalla posizione dei moduli. Cioè il codice sarà lo stesso per le chiamate a *moduli locali*, cioè nello stesso processo, che per *moduli remoti*, cioè in un altro processo o su un'altra macchina.

### Proxy

Un proxy è un oggetto che si comporterà come il modulo che rappresenta. Ad esempio creando un proxy per il modulo ALMotion (il modulo che fornisce i metodi che gestiscono i movimenti del robot), si ottiene un oggetto contenente tutti i metodi definiti all'interno del modulo ALMotion.

### Moduli

Un Modulo è una classe all'interno di una libreria. Quando la libreria viene caricata dal autoload.ini, essa istanzia automaticamente la classe del modulo. Nel costruttore di una classe vengono pubblicati i nomi dei metodi della classe e passati al broker in modo che questi divengano disponibili.

Un Modulo può essere di tipo locale o remoto:

- Un Modulo locale, viene compilato come libreria e può essere utilizzato solo sul robot. I moduli locali sono due (o più) moduli lanciati nello stesso processo. Questi moduli comunicano tra loro usando un solo broker.
- Poiché i Moduli locali si trovano nello stesso processo, possono condividere variabili e chiamare i metodi degli altri senza metterli in serie e senza utilizzare il networking (utilizzare risorsa in rete). Questo ha il vantaggio che la comunicazione tra di loro è la più veloce possibile.
- Un Modulo remoto, viene compilato come un file eseguibile e può essere eseguito all'esterno del robot. I Moduli remoti sono moduli che comunicano tramite la rete. Un modulo remoto ha bisogno di un broker per parlare con altri Moduli. Il broker è responsabile di tutta la parte di networking. I moduli remoti funzionano utilizzando il protocollo SOAP per lo scambio di messaggi tra componenti software sulla rete.
- I Moduli remoti sono più facili da usare ma sono meno efficienti in termini di velocità e utilizzo della memoria.

Ogni Modulo contiene vari metodi. Tra questi, alcuni metodi possono essere chiamati dall'esterno del Modulo, ad esempio all'interno di un altro Modulo, oppure da un eseguibile ecc.

#### 2.4.3 Utilizzo del Modulo di Speech Recognition di bordo

Il robot NAO dispone di un motore di riconoscimento del parlato di tipo commerciale (fornito da due società, *Nuance* e *Acapela Group*) che ha delle discrete prestazioni sia in termini di velocità che di effettivo riconoscimento delle parole ascoltate.

Il framework NAOqi fornisce il Modulo *ALSpeechRecognition* (Modulo ASR) per la gestione del motore di riconoscimento del parlato e attraverso il Modulo ASR il robot NAO ha la possibilità di riconoscere parole o frasi predefinite in diverse lingue.

Per poter utilizzare il motore di riconoscimento del parlato a bordo del NAO, la prima operazione da fare è importare le librerie NAOqi.

In fase di inizializzazione il Modulo ASR deve contenere l'elenco di parole (*phrase*) che vogliamo siano riconosciute dal motore di riconoscimento vocale del robot.

Una volta avviato nel nostro eseguibile, il Modulo ASR inserirà nella chiave ***SpeechDetected***, un valore booleano che specifica se è stato sentito qualcosa o meno.

Se è stato sentito qualcosa e la chiave precedente è quindi ad un valore TRUE, ciò che viene captato dal microfono viene confrontato con l'elemento dell'elenco (fornito in sede di inizializzazione del Modulo ASR)

che meglio corrisponde a ciò che è stato ascoltato dal robot e questo elemento viene inserito nella chiave **WordRecognized**.

La chiave *WordRecognized* è organizzata come segue:

```
[phrase_i_1, confidence_1, phrase_i_2, confidence_2, ..., phrase_i_n, confidence_n]
```

dove:

- **phrase\_i** è una delle parole predefinite
- **confidence\_i** una stima della probabilità che questa parola sia effettivamente ciò che è stato pronunciato dalla persona.

Le diverse ipotesi contenute nella chiave sono ordinate in modo che le parole con una maggiore probabilità siano messe in cima alla lista.

Il motore di riconoscimento vocale a bordo di NAO permette anche di definire una particolare grammatica da utilizzare nel processo di riconoscimento.

Una grammatica di riconoscimento non fa altro che preparare il motore di riconoscimento vocale a una data forma di input.

In questo caso ciò che viene captato dal microfono viene confrontato con l'elemento dell'elenco (fornito in sede di inizializzazione del Modulo ASR) che meglio corrisponde a ciò che è stato ascoltato dal robot e l'elemento viene inserito nella chiave **WordRecognizedAndGrammar**.

La chiave *WordRecognizedAndGrammar* è organizzata come segue:

```
[phrase _1, confidence_1, grammar_1, phrase _2, confidence_2, grammar_2, ..., phrase_n, confidence_n, grammar_n]
```

dove:

- **phrase\_i** è una delle parole predefinite
- **confidence\_i** una stima della probabilità che questa parola sia effettivamente ciò che è stato pronunciato dalla persona
- **grammar\_i** è il nome della grammatica utilizzata dal motore di riconoscimento.

Anche in questo caso le diverse ipotesi contenute nella chiave sono ordinate in modo che le parole più probabili vengano inserite ai primi posti.

Da un punto di vista operativo, quindi, per poter utilizzare i metodi del Modulo ASR, è necessario creare un proxy sul Modulo ASR.

Poi ci sono delle istruzioni per settare l'indirizzo IP del robot e per settare la lingua del motore di riconoscimento vocale (il robot NAO permette di impostare numerosissime lingue).

Altra cosa da fare in sede di inizializzazione del Modulo è definire un nostro vocabolario di parole che il robot deve saper riconoscere grazie al suo motore di riconoscimento vocale.

A questo punto per avviare il motore di riconoscimento vocale, è necessario registrarsi al modulo.

Un semplice programma in linguaggio *python* che implementa il riconoscimento di alcune parole con il motore di riconoscimento vocale di bordo viene riportato di seguito:

```
from naoqi import ALProxy
```

```
ROBOT_IP = "10.1.1.133"
```

```

# Creates a proxy on the speech-recognition module

asr = ALProxy("ALSpeechRecognition", ROBOT_IP, 9559)

asr.setLanguage("Italian")

# Example: Adds "si", "no" and "ciao" to the vocabulary (without wordspotting)

vocabulary = ["si", "no", "ciao"]

asr.setVocabulary(vocabulary, False)

# Start the speech recognition engine with user Test_ASR

asr.subscribe("Test_ASR")

print 'Speech recognition engine started'

time.sleep(20)

asr.unsubscribe("Test_ASR")

```

#### 2.4.4 Utilizzo di servizi online di AI per la Speech Recognition

Come è stato già accennato precedentemente il motore di riconoscimento vocale a bordo del robot NAO non è particolarmente performante e in molti casi rende difficoltosa ed inefficace l'interazione con l'utente, specialmente quando questi non si trovi esattamente davanti ai suoi microfoni oppure parli a voce troppo bassa.

Si tratta di limitazioni ben note in letteratura e perfettamente comprensibili in un robot dal costo non troppo elevato che privilegia la reattività dell'interazione e può far ricorso a limitate risorse computazionali di bordo sia in termini di memoria che di algoritmica.

Si è quindi deciso di provare a rendere maggiormente robusto il processo di riconoscimento vocale utilizzando i servizi di Intelligenza Artificiale disponibili online.

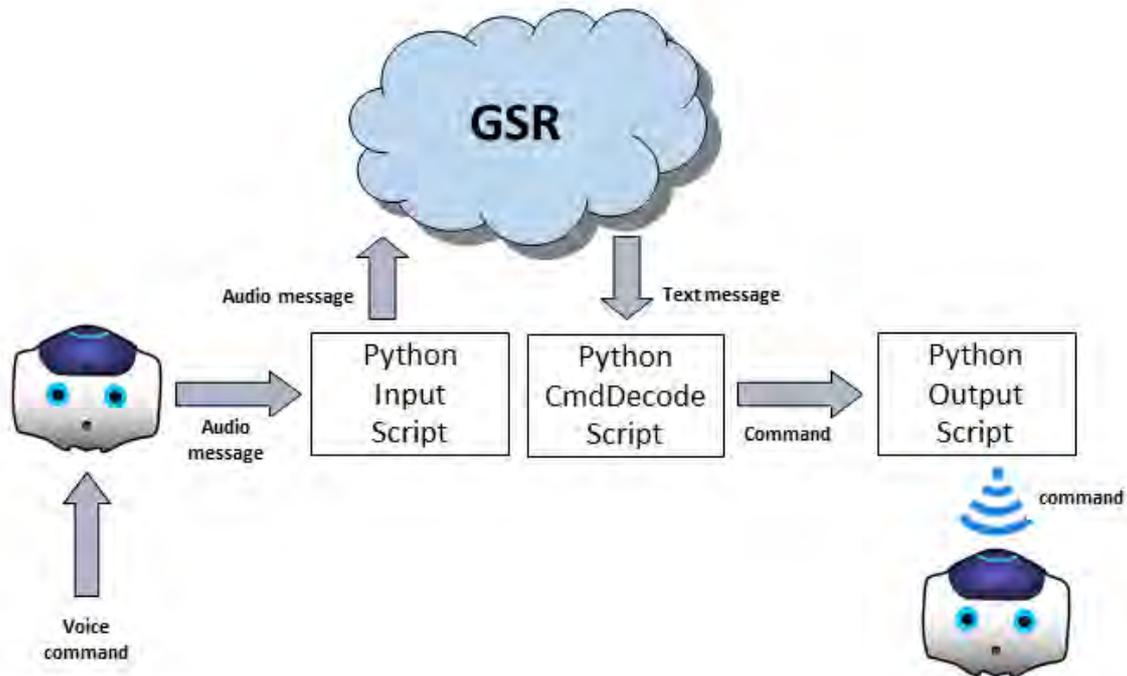
Tra questi, è stato scelto il GSR - Google Speech Recognition Service.

L'interfacciamento del robot con il GSR avviene tramite file di istruzioni (script) in linguaggio *Python*. Questi script possono funzionare sia su un computer che essere caricati direttamente sulla memoria di bordo del robot NAO.

Il software che è stato realizzato è suddiviso in due differenti script

- Lo script di input registra il messaggio vocale con il comando e lo invia al server di Google che offre il servizio di riconoscimento vocale (<https://cloud.google.com/speech-to-text/>) che, dopo averlo analizzato, fornisce in uscita una stringa di testo contenente al suo interno le parole che sono state riconosciute all'interno del messaggio vocale.
- Un secondo script di output analizza la stringa di testo ricevuta dal server remoto, la decodifica e trasmette (via connessione wi-fi) il comando al robot NAO che lo interpreta ed associa l'azione corrispondente.

Questo disaccoppiamento degli script (input/output) è necessario a causa di un disallineamento tra le versioni del linguaggio python del robot (python 2.7) e quella necessaria per accedere al Google Speech Recognition Service (python 3.6).



**Figura 8. Interfacciamento di NAO con i servizi GSR**

Come esempio del processo illustrato precedentemente prendiamo come comando per il robot la semplice ripetizione della frase di ingresso che è stata riconosciuta.

### Script di input

```
# esempio di speech recognition con librerie Google.
# Script che riceve l'input vocale e lo trasmette a GSR per il riconoscimento

import sys
import speech_recognition as sr
import time
import pyaudio
import subprocess
from multiprocessing import Process

r = sr.Recognizer() # fa la lista dei microfoni disponibili
for index, name in enumerate(sr.Microphone.list_microphone_names()):
    print("Microphone with name \"{1}\" found for
'Microphone(device_index={0})'".format(index, name))

# esegue il riconoscimento un numero infinito di volte
while 1 > 0:
# recognize speech using Google Speech Recognition
    with sr.Microphone(0) as source:
        # stampa l'ok per il comando vocale
```

```

print("parla ora!")
audio = r.listen(source)
testo=r.recognize_google(audio)
# la lingua utilizzata è l'italiano
print("Google Speech Recognition pensa che tu abbia detto " +
r.recognize_google(audio, language="it-IT"))

# chiama lo script in python 2.7 che fa parlare il robot
# testo è l'argomento passato, e corrisponde a sys.argv[1] (sys.argv[0] è il
nome del file)
subprocess.call(['C:\python27\python.exe', 'script_di_output.py', testo])
except sr.UnknownValueError:
    print("Google Speech Recognition non ha capito il comando")
except sr.RequestError as e:
    print("Impossibile richiedere risultati da Google Speech Recognition;
{0}".format(e))
except sr.WaitTimeoutError as e:
    print("Tempo scaduto")

```

## Script di output

```

# esempio di speech recognition con librerie Google.# Script che riceve il testo
dal file di input e lo trasmette al robot che lo ripete ad alta voce

import sys
import os.path
from time import sleep

#importa le librerie del robot
from naoqi import ALProxy

# prende l'argomento passato dallo script di input (sys.argv[0] corrisponde al
nome del file)
text = sys.argv[1]

# indirizzo dei robot su wifi
#NAO1
robotIP1 = "10.1.1.5"
#NAO2
#robotIP2 = "10.1.1.4"
# chiama la funzione, passando indirizzo IP e porta

```

```

tts1 = ALProxy("ALTextToSpeech", robotIP1, 9559)
try:
    tts1.say(text)
except:
    tts1.say("non ho capito")

```

Gli applicativi software sviluppati hanno permesso di interfacciare efficacemente il robot NAO con i servizi GSR. Ciò ha permesso di estendere notevolmente la capacità native del robot di riconoscere il parlato di una persona, aumentando considerevolmente la percentuale di parole correttamente riconosciute e quindi, più in generale, l'efficacia dell'interazione uomo-macchina.

## 2.5 Clustering di abitazioni per la scelta di modelli di disaggregazione di consumi elettrici tramite reti deep

In collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ingegneria Informatica, è stata proseguita l'attività relativa allo sviluppo di modelli e di strumenti basati sul machine learning per la disaggregazione dei dati di consumo elettrico domestico residenziale generale nelle componenti attribuibili ai singoli elettrodomestici, come descritto nel Report RdS/PAR2018/023[5]. L'idea di questo lavoro è quella di raggruppare le abitazioni delle 10 case, oggetto del dimostrativo sperimentale di Centocelle (si veda in proposito il Report RdS/PAR2017/047), per cui sono stati raccolti i dati della disaggregazione del consumo elettrico in cluster simili rispetto ai comportamenti di consumo dei residenti nell'abitazione.

### 2.5.1 Dati e Preprocessing

Nella seguente tabella sono rappresentati i periodi effettivamente utilizzabili del consumo complessivo e degli elettrodomestici considerati per ogni abitazione:

**Tabella 2. Periodi utilizzabili relativi a consumo complessivo ed elettrodomestici**

	MAIN	FRIDGE	WASHING MACHINE	DISHWASHER
C1	01/07 – 30/11	01/07– 30/11	01/07– 30/11	01/07 – 30/11
C2	14/04 – 30/11	14/04 – 30/11	14/04 – 30/11	
C3	14/04 – 30/08	14/04 – 30/09	14/04 – 30/06	
C4	14/04 – 30/11		14/04 – 30/06	
C5	14/04 – 30/11		14/04 – 30/11	14/04 – 30/11
C6	10/05 – 30/11	10/05 – 30/11	10/05 – 30/11	
C7	14/04 – 21/11	14/04 – 21/11	14/04 – 21/11	14/04 – 30/09
C8	09/05 – 31/07		09/05 – 30/06	
C9	09/05 – 30/11	09/05 – 30/11	09/05 – 07/07	09/05 – 30/11
C10	14/04 – 14/07	14/04 – 14/07	14/04 – 14/07	14/04 – 14/07

I dati sono aggregati a 15 minuti, in un giorno ci sono al più 96 osservazioni. In fase di pre-processing si sono sostituiti i dati mancanti. A tal proposito è stata utilizzata l'interpolazione lineare per sostituire valori mancanti corrispondenti a giorni sparsi del calendario e giorni per cui la frazione di valori mancanti è trascurabile, mentre per blocchi consecutivi da minimo di 3 a ad un massimo di 30 giorni è stata utilizzata la media puntuale tra il periodo precedente e quello successivo al blocco.

## 2.5.2 Clustering

Il primo passo è stato quello di individuare delle caratteristiche (features) che fossero significative ai fini della caratterizzazione del comportamento energetico dei residenti e che fossero estraibili dal consumo generale. Utilizzando il main (potenza elettrica in Watt) di ogni abitazione, sono state individuate 10 caratteristiche che permettono di catturare il profilo di consumo di ciascuna di esse. A questo scopo dividiamo le 24h di un giorno in tre fasce orarie di consumo, per avere una migliore descrizione del comportamento energetico, ciascuna da 8h:

- 1) 08:00:00 – 16:00:00
- 2) 16:00:00 – 00:00:00
- 3) 00:00:00 – 08:00:00

Per una particolare abitazione,  $P_i$  è la potenza media nella fascia oraria  $i = 1, 2, 3$  con deviazione standard  $S_i$ .  $P_{tot}$  è la potenza media su tutto il periodo disponibile con deviazione standard  $S_{tot}$ . Infine  $P_i^{WE}$  è la potenza media nel weekend in ciascuna fascia oraria e  $P_i^{WD}$  è la potenza media nei rimanenti giorni della settimana. Usando questa notazione, il profilo di consumo di ogni abitazione viene calcolato utilizzando le seguenti nove caratteristiche:

1. - **Potenza media relativa:**  $P_i^R = \frac{P_i}{P_{tot}}, i = 1, 2, 3$
2. - **Deviazione standard relativa:**  $S_i^R = \frac{S_i}{S_{tot}}, i = 1, 2, 3$
3. - **Potenza media Weekend vs. Weekday:**  $W_i = \frac{|P_i^{WE} - P_i^{WD}|}{P_{tot}}, i = 1, 2, 3$
4. Infine si è scelto di includere il **numero di utenti nell'abitazione**

Si è quindi applicato l'algoritmo k-means alle 10 abitazioni caratterizzate con le precedenti 10 features. L'algoritmo k-means è basato sul principio di minimizzare la dissimilarità nei cluster intesa come la somma delle distanze euclinee tra i vettori del cluster e un centroide (che deve essere determinato) del cluster. Per la scelta del numero di cluster si sono effettuati diversi tentativi, e si è scelto alla fine la suddivisione in 4 clusters, il cui risultato è rappresentato in Figura 1.

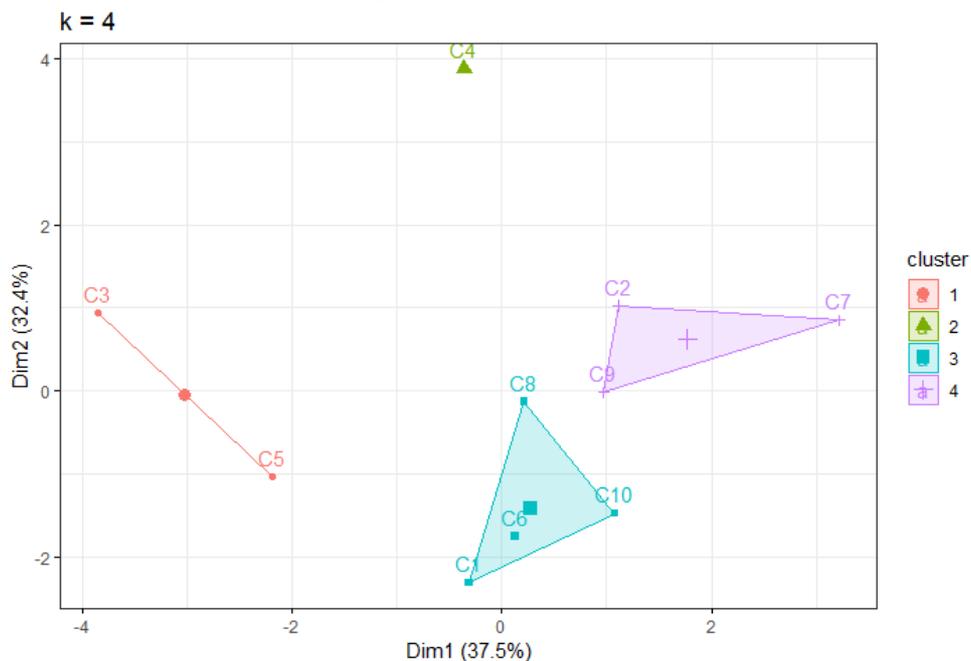


Figura 9. Risultato di K-Means utilizzando le 10 case Centocelle (Aprile – Novembre)

Si ottengono un cluster da 4 case, un cluster da 3 case, un cluster da 2 case, mentre C4 costituisce un cluster a sé, e questo corrisponde al fatto che è l'unica casa con un unico abitante e con consumi energetici molto molto bassi.

All'interno di ogni cluster, per ogni elettrodomestico, si è scelta la casa più vicina al centroide che presentasse dati di quell'elettrodomestico, per costruire il modello di riferimento di quell'elettrodomestico per quel cluster. Riportiamo nella seguente tabella le case scelte per costruire il modello per ogni elettrodomestico

**Tabella 3. Serie storiche scelte per costruire il modello degli elettrodomestici in ogni cluster**

	FRIDGE	DISHWASHER	WASHING MACHINE
CLUSTER C1,C6,C8,C10	C6	C10	C6
CLUSTER C2,C7,C9	C2	C9	C2
CLUSTER C3,C5	C3	-	C5
CLUSTER C4	-	-	-

Notiamo che su C4 non ci sono dati sufficienti per costruire un modello visto che ci sono solo un mese e mezzo di dati per la washing machine ma con pochissime attivazioni della stessa.

### 2.5.3 Modelli di Machine Learning

Poiché i dati del consumo elettrico sia generale che dei singoli elettrodomestici sono aggregati su intervalli di 15 minuti, i dataset a disposizione per costruire i modelli sono di dimensioni contenute. Per questo motivo si sono utilizzate reti con architetture non troppo complesse, con un numero di strati tra uno e tre e numero di neuroni negli strati nascosti variabile nell'insieme {16, 32, 64, 128} e con funzioni di attivazione ReLU o sigmoide. Come funzione di loss per l'addestramento si è scelto in generale il MAE (Mean Absolute Error), ma per alcuni elettrodomestici per cui si avevano consumi molto bassi o poche attivazioni si è scelto il MSE (Mean Square Error), le cui espressioni vengono qui riportati

$$MAE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |\hat{y}_t - y_t|, MSE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{y}_t - y_t)^2$$

dove  $\hat{y}_t$  rappresenta la stima del consumo dell'elettrodomestico predetta dal modello e  $y_t$  il consumo reale all'istante di tempo t.

L'architettura è stata scelta tramite cross validation. E' stata addestrata una rete per ogni elettrodomestico utilizzando come input la serie main e come target la serie dell'appliance corrispondente.

Il test set corrisponde all'ultimo mese della coppia main-appliance e il validation set che è temporalmente consecutivo al training set viene utilizzato per scegliere l'architettura della rete (numero di strati e numero di neuroni in ciascun strato) e il numero ottimo di epoche tramite early stopping.

La bontà del modello viene testata prima di tutto sul test set di quella coppia casa-appliance che corrisponde all'ultimo mese di dati disponibili.

Dopo di che il modello viene testato sull'intero insieme di dati delle altre case nel centroide.

### 2.5.4 Risultati

Uno dei problemi del NILM è quello di valutare la bontà dei risultati, perché le metriche classiche utilizzate per analisi di serie storiche non sono facilmente interpretabili. Quando si può dire che un risultato effettivamente segue l'andamento della serie originale? Ad esempio non è facile stabilire quale sia un valore accettabile di MAE o di MSE. Per questo motivo riportiamo prima i risultati in modo grafico, riportando la percentuale reale e quella predetta di consumo del singolo appliance nelle tre fasce orarie nei singoli giorni a disposizione. Questa costituisce una misura di interesse per il consumatore, in quanto permette di capire quale elettrodomestico sia più energivoro e in quale fase della giornata. Consideriamo come esempio il cluster (C2, C7, C9), il modello è costruito sulla casa C2 e testata su C7 e C9. Riportiamo come esempio i grafici relativi al frigorifero nelle tre fasce orarie su tutti i dati presenti per la casa C9 nelle figure 2-4:

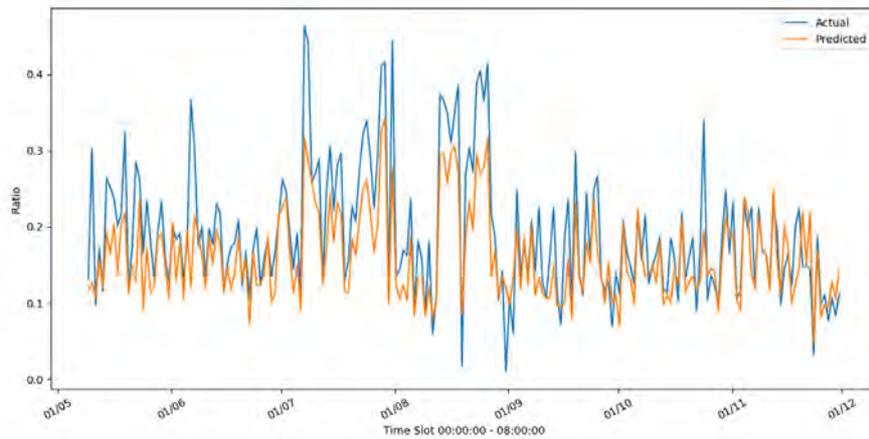


Figura 10. Consumo del frigo di casa C9 predetto tramite modello relativo a C2 nella fascia 00:00-08:00

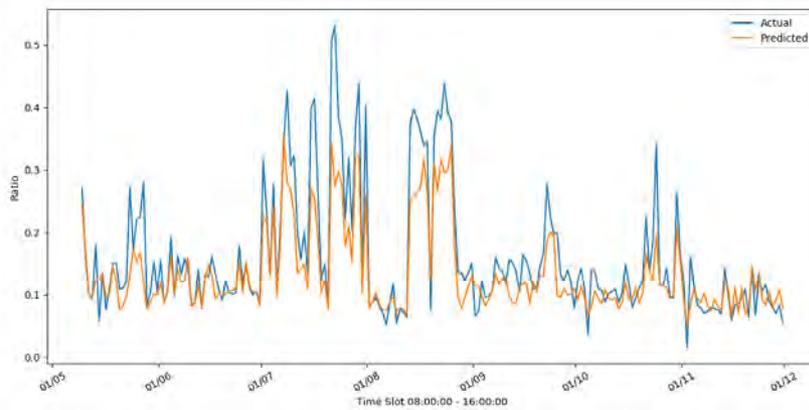


Figura 11. Consumo del frigo di casa C9 predetto tramite modello relativo a C2 nella fascia 08:00-16:00.

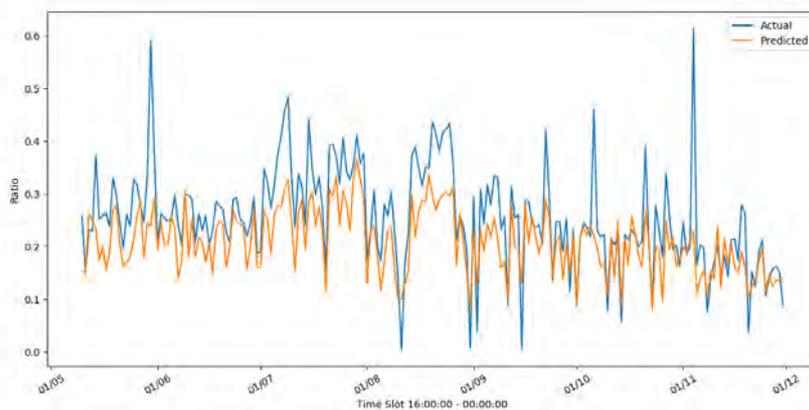


Figura 12. consumo del frigo di casa C9 predetto tramite modello relativo a C2 nella fascia 16:00-00:00

Come si vede dalle figure si ha un'ottima aderenza del profilo di consumi. Risultati analoghi si hanno per le altre case e per gli altri elettrodomestici.

Per poter riportare in forma compatta i risultati si è scelto traendo ispirazione dalla letteratura di calcolare il match rate

$$\text{MATCH RATE (MR)} = \frac{\sum_{i=1}^N \min(P_i, \hat{P}_i)}{\sum_{i=1}^N \max(P_i, \hat{P}_i)}$$



C1	0.613	0.600	0.649	0.595	0.573	0.660	<b>0.628</b>	<b>0.604</b>	<b>0.659</b>
C2	<b>0.799</b>	<b>0.777</b>	<b>0.785</b>	0.718	0.746	0.755	0.766	0.766	0.763
C3	0.695	0.710	0.711	<b>0.818</b>	<b>0.806</b>	<b>0.848</b>	0.802	0.762	0.796
C6	0.582	0.583	0.557	0.801	0.788	0.798	<b>0.809</b>	<b>0.793</b>	<b>0.803</b>
C7	<b>0.686</b>	<b>0.695</b>	<b>0.745</b>	0.502	0.566	0.579	0.597	0.616	0.618
C9	<b>0.793</b>	<b>0.789</b>	<b>0.782</b>	0.654	0.699	0.626	0.672	0.694	0.707
C10	0.549	0.421	0.638	0.509	0.536	0.604	<b>0.642</b>	<b>0.709</b>	<b>0.659</b>

HOUSE ID	MATCH RATE								
	Washing Machine C2			Washing Machine C5			Washing Machine C6		
	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 1	Slot 2	Slot 3
C1	0.326	0.274	0.107	0.220	0.305	0.144	<b>0.315</b>	<b>0.452</b>	<b>0.179</b>
C2	<b>0.383</b>	<b>0.601</b>	<b>0.537</b>	0.312	0.452	0.410	0.517	0.281	0.294
C3	0.349	0.213	0.313	<b>0.451</b>	<b>0.471</b>	<b>0.452</b>	0.483	0.410	0.464
C5	0.120	0.305	0.144	<b>0.195</b>	<b>0.528</b>	<b>0.381</b>	0.101	0.328	0.253
C6	0.167	0.183	0.138	0.149	0.229	0.167	<b>0.321</b>	<b>0.355</b>	<b>0.281</b>
C7	<b>0.294</b>	<b>0.376</b>	<b>0.413</b>	0.195	0.267	0.286	0.276	0.223	0.331
C8	0.070	0.233	0.196	0.072	0.118	0.201	<b>0.164</b>	<b>0.062</b>	<b>0.238</b>
C9	<b>0.329</b>	<b>0.204</b>	<b>0.306</b>	0.199	0.075	0.192	0.292	0.113	0.201
C10	0.321	0.297	0.192	0.360	0.307	0.170	<b>0.460</b>	<b>0.479</b>	<b>0.253</b>

HOUSE ID	MATCH RATE								
	Dishwasher C5			Dishwasher C9			Dishwasher C10		
	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 1	Slot 2	Slot 3
C1	0.249	0.358	0.275	0.304	0.398	0.384	<b>0.485</b>	<b>0.401</b>	<b>0.266</b>
C5	<b>0.358</b>	<b>0.306</b>	<b>0.443</b>	0.259	0.211	0.351	0.229	0.232	0.256
C7	0.332	0.463	0.382	<b>0.459</b>	<b>0.571</b>	<b>0.602</b>	0.446	0.520	0.382
C9	0.464	0.420	0.398	<b>0.742</b>	<b>0.723</b>	<b>0.765</b>	0.538	0.518	0.344
C10	0.333	0.550	0.454	0.344	0.577	0.490	<b>0.573</b>	<b>0.767</b>	<b>0.833</b>

### 3 Servizi di aggregazione e realizzazione del dimostrativo

Presso il dimostrativo pilota è proseguita la sperimentazione di una rete di Smart Homes descritte nel Report RdS/PAR2017/047, che ha interessato complessivamente 14 abitazioni, di cui 10 presso l'area di Centocelle a Roma e 4 nell'area N-O di Roma suddivise in due aggregati, come sintetizzato nella tabella seguente.

**Tabella 7. Descrizione della rete di smart homes**

Aggregatore	EB	Tipologia di edificio	Quartiere	Anno di costruzione	Superficie utile ( m <sup>2</sup> )	N. utenti per abitazione
1	C1	Edificio plurifamiliare	Prenestino-Centocelle	1919-45	49	
	C2	Casa isolata bifamiliare	Prenestino-Labicano	1919-45	101	
	C3	Edificio plurifamiliare	Alessandrino	1962-71	100	
	C4	Casa isolata bifamiliare	Alessandrino	1946-61	50	
	C5	Edificio plurifamiliare	Prenestino-Centocelle	1946-61	100	
	C6	Casa isolata	Prenestino-Centocelle	2010-15	65	
	C7	Edificio plurifamiliare	Don Bosco	1991-05	65	
	C8	Edificio plurifamiliare	Alessandrino	1962-71	60	
	C9	Edificio plurifamiliare	Don Bosco	1946-61	95	
	C10	Edificio plurifamiliare	Don Bosco	1962-71	102	
2	E3	Edificio plurifamiliare	Trionfale	1962-71	67	
	E4	Edificio plurifamiliare	Boccea-Casalotti	1982-91	134	
	E8	Casa isolata bifamiliare	Mentana	1982-91	124	
	E9	Casa isolata bifamiliare	Mentana	1982-91	123	

In questi tre mesi si è proceduto a verificare il funzionamento delle singole Smart Home ed a valutare i risultati ottenuti. La disponibilità del dataset ha consentito di effettuare la caratterizzazione della prestazione e della gestione energetica degli edifici pilota e su un edificio tipologico e rappresentativo degli stessi al fine di valutare diverse strategie di gestione e automazione.

E' stato effettuato un upgrade della piattaforma di Aggregazione per la realizzazione di nuovi servizi da offrire agli utenti, a tal fine sono stati implementati i servizi forniti dall'Aggregatore, in particolare sono stati predisposti dei report automatici che vengono inviati mensilmente all'indirizzo mail fornito dall'utente ed è stata sviluppata una APP per la visualizzazione interattiva della planimetria dell'abitazione con lo scopo di semplificare l'interazione tra utente e EB.

Sono stati definiti gli use case relativi alla pubblicazione dei dati del verticale Smart Homes Networks per la "Smart District Platform".

Infine è stata analizzata la replicabilità del modello proposto anche tramite una review dei servizi e modelli di business innovativi nel settore delle reti di smart home.

### 3.1 Valutazione dei risultati della sperimentazione

A partire da ottobre si è proceduto a resettare tutti gli Energy Box (EB) delle Smart Homes dislocate nell'area di Centocelle per risolvere i problemi di funzionamento di alcuni sensori, così come era stato riscontrato precedentemente, in particolare quelli relativi al monitoraggio ambientale e contatti di porte e finestre. Inoltre sono state configurate e testate le smart valve nel periodo invernale.

In particolare è stato compiuto il reset del dongle Z-Wave e riconfigurati tutti i sensori. Per recuperare i dati acquisiti nel periodo precedente, è stato necessario effettuare un merge tra i due database dopo aver definito il mapping tra i vecchi e nuovi oggetti.

La fase di reset ha comportato vari interventi presso il dimostrativo, come sintetizzato nella tabella seguente:

**Tabella 8. Calendario degli interventi effettuati presso i dimostrativo**

Data	Tipo di intervento
7 settembre	Reset degli EB E8 ed E9.
5 ottobre 2018	Reset e riconfigurazione degli EB C1, C5, C7, C9.
19 ottobre 2018	Reset C4, C2, C6, C8, C10. C3 disconnesso
30 novembre 2018	Check batterie e sostituzione. C3 riconnesso e riconfigurato

Di seguito si riporta l'elenco dei sensori installati nelle abitazioni oggetto della sperimentazione a valle del reset effettuato:

**Tabella 9. Elenco dei sensori installati**

Energy Box	Smart meter	Smart plug	Smart switch	Multisensore fibaro	Contatto porta/ finestra	Smart valve
<b>C1</b>	1	4	1	5	6	5
<b>C2</b>	1	4	-	7	8	5
<b>C3</b>	1	4	-	6	5	-
<b>C4</b>	1	4	-	4	5	4
<b>C5</b>	2	4	1	6	6	2
<b>C6</b>	1	4	1	6	5	6
<b>C7</b>	1	4	1	4	1	5
<b>C8</b>	1	3	-	4	5	3
<b>C9</b>	1	5	1	7	8	8
<b>C10</b>	1	4	1	6	8	6
<b>E3</b>	1	3	-	3	3	-
<b>E4</b>	1	6	-	9	9	-
<b>E8</b>	1	4	-	7	-	7
<b>E9</b>	2	5	-	7	3	8

Ricordiamo il funzionamento del sistema installato presso le abitazioni oggetto di sperimentazione: in ciascuna casa sono stati installati sensori per il monitoraggio elettrico (smart meter, smart plug e switch), confort (multisensore fibaro per il monitoraggio di temperatura, presenza), apertura e chiusura delle finestre e porta d'ingresso (contatti), inoltre sono state installate delle smart valve per il controllo del set-point dei termosifoni. Tutti questi dispositivi comunicano tramite protocollo Z-Wave con l'Energy Box che funge da gateway, acquisisce i dati monitorati e li trasmette alla piattaforma dell'Aggregatore, l'EB off-line causa la perdita dei dati acquisiti dai sensori tranne per i consumi elettrici che vengono acquisiti dai sensori in termini di kWh cumulati e trasmessi all'EB quando il sistema torna a comunicare. L'EB risulta off line per

manca di connessione interne, mancanza di alimentazione elettrica o per mancanza di funzionamento della rete Z-Wave.

A valle di tale riconfigurazione del sistema di monitoraggio sono state effettuate verifiche di funzionamento, nella tabella seguente è stato schematizzato il funzionamento giornaliero degli EB che afferiscono all'Aggregatore 1 e 2.

Tabella 10. Verifica EB

**Aggregatore 1**

Aggregatore 1																																
EB	C1																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
maggio	[Red]																															0%
giugno	[Red]																															0%
luglio	[Green]																															84%
agosto	[Green]																															100%
settembre	[Green]																															93%
ottobre	[Green]																															97%
novembre	[Green]																															100%
dicembre	[Green]																															97%
EB	C2																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
maggio	[Green]																															100%
giugno	[Green]																															100%
luglio	[Green]																															100%
agosto	[Green]																															100%
settembre	[Green]																															100%
ottobre	[Red]																															55%
novembre	[Green]																															100%
dicembre	[Green]																															97%
EB	C3																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
maggio	[Red]																															100%
giugno	[Red]																															100%
luglio	[Red]																															100%
agosto	[Red]																															100%
settembre	[Red]																															100%
ottobre	[Green]																															45%
novembre	[Red]																															100%
dicembre	[Green]																															0%
EB	C4																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
aprile	[Green]																															100%
maggio	[Green]																															100%
giugno	[Green]																															100%
luglio	[Green]																															48%
agosto	[Red]																															77%
settembre	[Green]																															100%
ottobre	[Green]																															100%
novembre	[Green]																															100%
dicembre	[Green]																															100%
EB	C5																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
aprile	[Red]																															23%
maggio	[Red]																															71%
giugno	[Green]																															97%
luglio	[Green]																															100%
agosto	[Green]																															100%
settembre	[Green]																															100%
ottobre	[Green]																															97%
novembre	[Green]																															100%
dicembre	[Green]																															100%
EB	C6																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
maggio	[Red]																															74%
giugno	[Green]																															100%
luglio	[Green]																															100%
agosto	[Green]																															90%
settembre	[Red]																															70%
ottobre	[Red]																															35%
novembre	[Green]																															100%
dicembre	[Green]																															94%
EB	EB-C7																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
maggio	[Green]																															97%
giugno	[Green]																															100%
luglio	[Green]																															100%
agosto	[Green]																															100%
settembre	[Green]																															100%
ottobre	[Green]																															97%
novembre	[Red]																															80%
dicembre	[Green]																															100%
EB	C8																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
maggio	[Red]																															74%
giugno	[Green]																															100%
luglio	[Green]																															100%
agosto	[Red]																															3%
settembre	[Red]																															0%
ottobre	[Red]																															35%
novembre	[Green]																															100%
dicembre	[Green]																															100%
EB	C9																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
maggio	[Red]																															74%
giugno	[Green]																															100%
luglio	[Green]																															90%
agosto	[Green]																															97%
settembre	[Red]																															67%
ottobre	[Red]																															74%
novembre	[Green]																															100%
dicembre	[Green]																															100%
EB	C10																															
	GIORNO																															
MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	% offline
maggio	[Red]																															100%
giugno	[Red]																															100%
luglio	[Green]																															48%
agosto	[Red]																															0%
settembre	[Red]																															0%
ottobre	[Red]																															26%
novembre	[Green]																															80%
dicembre	[Red]																															71%

**Aggregatore 2**

EB		E3																														% off line
		GIORNO																														
MESE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
maggio		[Red]																														0%
giugno		[Red]																														40%
luglio		[Green]																														90%
agosto		[Green]																														100%
settembre		[Green]																														100%
ottobre		[Green]																														100%
novembre		[Green]																														100%
dicembre		[Green]																														100%

EB		E4																														% off line
		GIORNO																														
MESE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
maggio		[Green]																														100%
giugno		[Green]																														100%
luglio		[Green]																														100%
agosto		[Green]																														100%
settembre		[Green]																														100%
ottobre		[Red]															[Green]															58%
novembre		[Green]																														100%
dicembre		[Green]																														97%

EB		E8																														% off line
		GIORNO																														
MESE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
maggio		[Red]																														0%
giugno		[Red]																														67%
luglio		[Green]																														100%
agosto		[Green]																														100%
settembre		[Green]																														97%
ottobre		[Green]																														100%
novembre		[Green]																														100%
dicembre		[Green]																														97%

EB		E9																														% off line
		GIORNO																														
MESE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
maggio		[Red]																														0%
giugno		[Red]																														67%
luglio		[Green]																														100%
agosto		[Green]																														100%
settembre		[Green]																														97%
ottobre		[Green]																														100%
novembre		[Green]																														100%
dicembre		[Green]																														97%

Nella tabella seguente è sintetizzato il funzionamento dei differenti gruppi di sensori.

**Tabella 11. Funzionamento della sensoristica installata.**

EB	Monitoraggio	Periodo considerato									
		Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
C1	Elektrico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Comfort	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	
	Contatti	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	
C2	Elektrico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Comfort	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	
	Contatti	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	
C3	Elektrico	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	
	Comfort	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	
	Contatti	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	
C4	Elektrico	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	
	Comfort	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	
	Contatti	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	
C5	Elektrico	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Comfort	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	
	Contatti	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	
C6	Elektrico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Comfort	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	
	Contatti	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	
C7	Elektrico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Comfort	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	
	Contatti	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	✓	✗	✗	
C8	Elektrico	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	
	Comfort	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	
	Contatti	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	

C9	Elektrico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
	Contatti	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓
C10	Elektrico	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
	Comfort	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓
	Contatti	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	-	-	✓
<b>AGGREGATORE 2</b>										
EB	<b>Monitoraggio</b>	<b>Apr</b>	<b>Mag</b>	<b>Giu</b>	<b>Lug</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Ott</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
E3	Elektrico	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	-	-	-	✓	✗	✗	-	-	-
	Contatti	-	-	-	✓	✗	✗	-	-	-
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E4	Elektrico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contatti	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E8	Elektrico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contatti	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓
E9	Elektrico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗
	Contatti	✗	✗	✗	✓	✗	-	-	-	-
	Smart valve	-	-	-	-	-	-	✓	✗	✗

**Legenda** **Funzionamento:** ✓ Regolare ✗ Dati mancanti - Sensore assente

Le verifiche hanno confermato il corretto funzionamento degli EB installati, ed in generale dei sensori per il monitoraggio dei parametri elettrici. A partire da ottobre, in seguito al reset dei diversi EB, i sensori hanno assicurato un comportamento più continuo e stabile tranne in alcune abitazioni (C1, C2, C7, E8) dove, dopo un periodo di corretto funzionamento iniziale, non hanno assicurato la trasmissione dei dati perché le batterie si sono esaurite, mentre i problemi riscontrati presso l'EB C10 sono da imputare a problemi di connessione internet. In futuro si auspica di procedere ad un ulteriore upgrade dell'EB per indagare e tentare di risolvere le problematiche riscontrate.

### 3.1.1 Analisi risultati conseguiti

La corretta acquisizione dei dati relativi ai consumi elettrici ha consentito di verificare i risultati della sperimentazione in termini di risparmio conseguito dalle famiglie coinvolte nella sperimentazione. Nell'analisi sono stati esclusi alcuni EB in quanto non significativi, ovvero:

- EB C2, i dati di consumo da bolletta a disposizione si riferiscono ad un'altra famiglia che precedentemente occupava lo stesso appartamento, per questo motivo non si possono considerare utili al confronto con il monitoraggio effettuato nel periodo di sperimentazione;
- EB C3, questo EB è rimasto sconnesso per un periodo di tempo troppo lungo pertanto il dataset disponibile è stato valutato insufficiente per il confronto;
- EB ENEA 8 e 9 non hanno fornito dati di consumo da bolletta pertanto è stato impossibile effettuare un confronto.

Nei grafici seguenti sono stati confrontati i consumi elettrici generali delle abitazioni monitorate nel 2018 con quelli forniti dagli utenti sulla base delle bollette del 2017 distinti tra Aggregatore 1 e 2. Nel grafico sono stati esclusi i mesi in cui i dati della sperimentazione erano insufficienti.

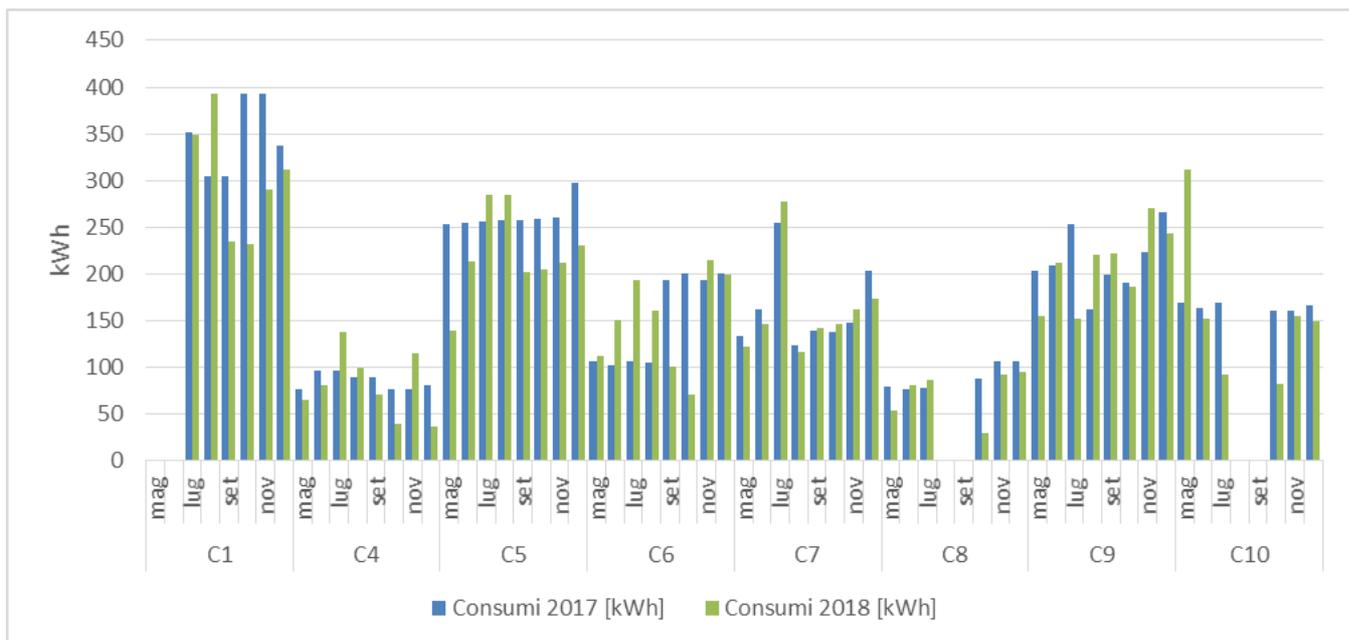


Figura 13. Confronto tra i consumi mensili dell'abitazioni Aggregatore 1

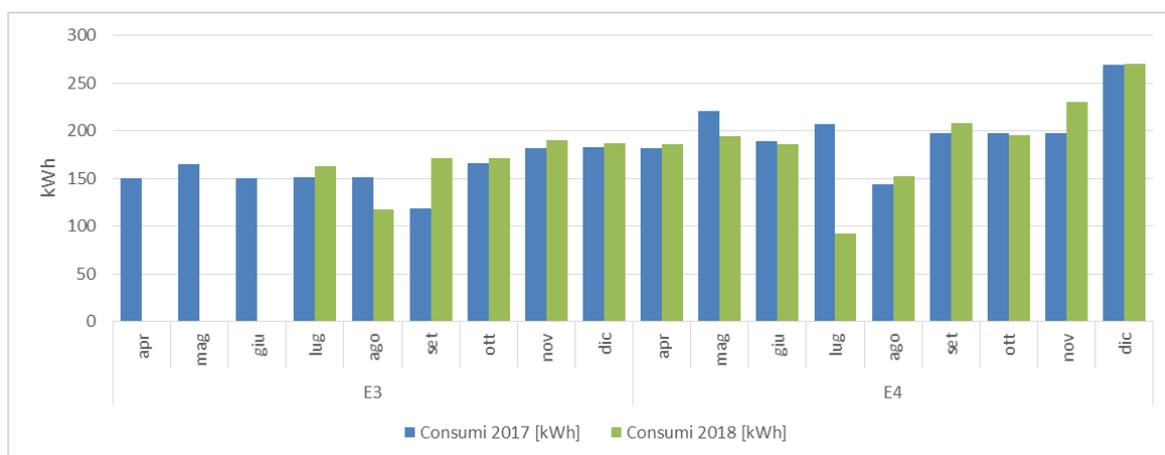
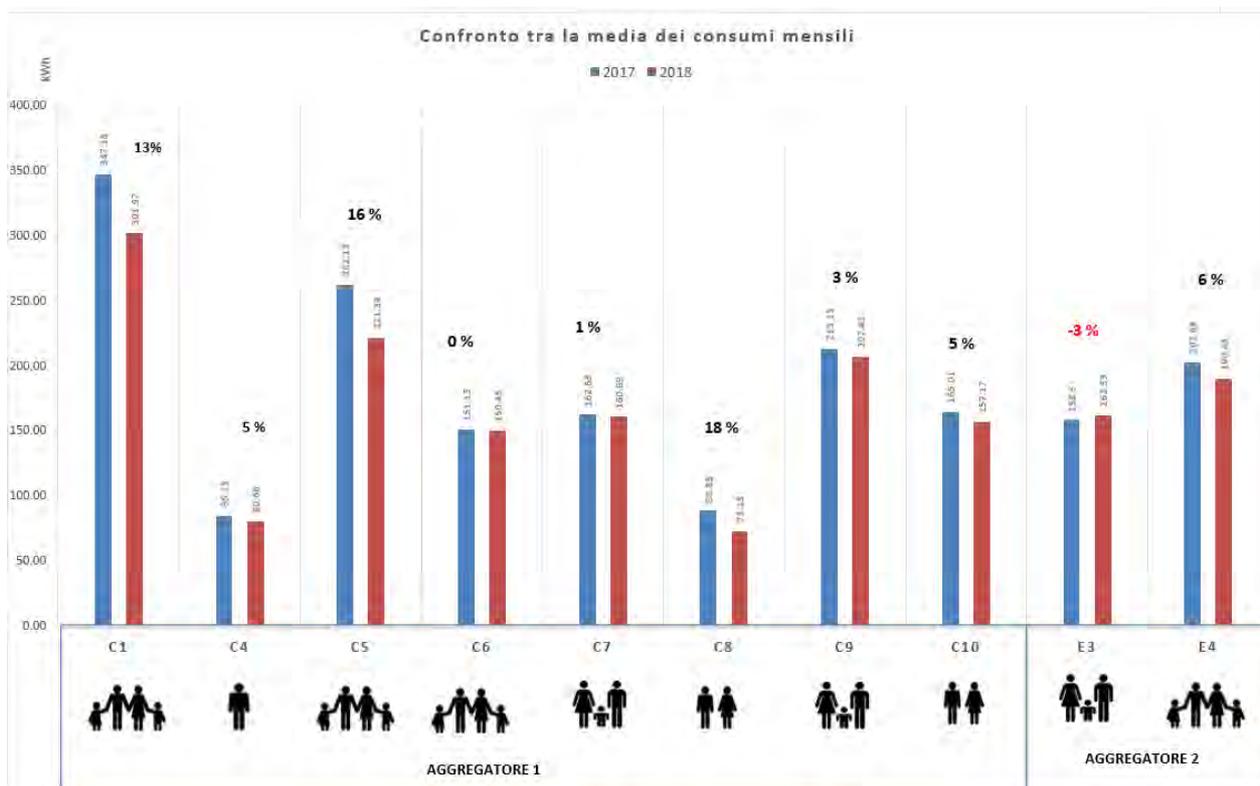


Figura 14. Confronto tra i consumi mensili delle abitazioni Aggregatore 2

Nel grafico seguente sono stati confrontati i consumi medi mensili di entrambi i gruppi ed è stata evidenziata la % di risparmio conseguito. Si può notare che il risparmio medio conseguito nell'Aggregatore è stato dell'8%, con una maggiore incidenza sulle famiglie più energivore e con un maggior numero di utenti. Nell'Aggregatore 2 si è avuto l'unico caso di incremento dei consumi, c'è da osservare che questi utenti non sono stati coinvolti in attività di sensibilizzazione sulle tematiche energetiche ne' nelle attività di smart communities, questo minore coinvolgimento può essere la motivazione di una minore incidenza nei risparmi conseguiti.

In generale si può considerare molto positivo il risultato conseguito soprattutto considerando che è imputabile principalmente ad una modifica del comportamento degli utenti non essendo stato applicato alcun controllo automatico.



**Figura 15. Confronto tra i consumi medi mensili e percentuali di risparmio**

### 3.1.2 Feedback all'utente con reportistica e planimetria interattiva

Sia la teoria che i risultati sperimentali [29] , [30] suggeriscono che il feedback può avere un ruolo chiave coinvolgere gli utenti nel risparmio energetico rendendo i consumatori consapevoli dell'energia consumata. Nella sperimentazione condotta, esclusivamente per gli utenti che afferiscono all'Aggregatore 1, sono state impiegate differenti tipologie di feedback:

- Incontri con gli utenti per illustrare motivazioni e modalità di sperimentazione. Sono stati coinvolti prima di iniziare la sperimentazione, gli è stato richiesto di effettuare un audit semplificato della propria abitazione a valle del quale sono stati messi a confronto i risultati. Inoltre sono stati effettuati dei sopralluoghi ed interventi presso le abitazioni per installare la strumentazione e per ovviare alle problematiche riscontrate;
- E' stata messa a disposizione un'interfaccia utente user-friendly per controllare **real time** i dispositivi installati nella singola abitazione accessibile sia via web che tramite App da cellulare. Successivamente è stata realizzata anche un'ulteriore applicazione che permette di confrontare i consumi avuti durante la sperimentazione con il loro **storico** così da monitorare i risparmi conseguiti. La stessa applicazione mette **a confronto tra loro** i consumi dei partecipanti alla sperimentazione al fine di incentivare un confronto competitivo.

Nei tre mesi integrativi è stato creato un sistema automatico di reportistica che invia mensilmente un report sull'andamento dei consumi registrati nell'ultimo mese alla mail indicata dall'utente, così da richiamare l'attenzione dell'utente che con l'andar del tempo potrebbe perdere interesse a visualizzare le differenti applicazioni disponibili. Si riporta di seguito un esempio di report che viene inviato che rimanda alle informazioni fornite dall'interfaccia dell'Aggregatore come descritto nel report Report RdS/PAR2017/047.

# Report dei tuoi consumi di dicembre



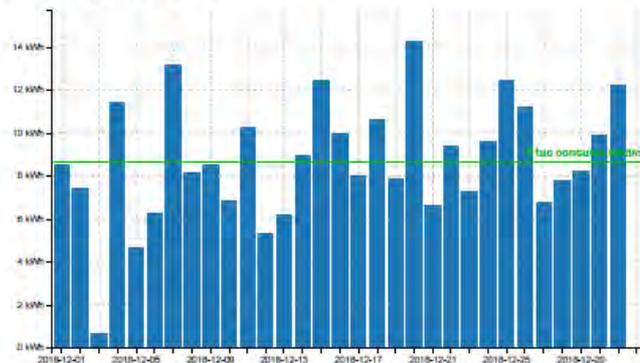
## INFORMAZIONI FORNITURA

<p><b>Roma</b> dati generali</p> <p>Indirizzo: Via .....Centocelle, Roma (RM) Metratura: 134 m<sup>2</sup> N° utenti: 4</p>	<p><b>Stima spesa</b> la stima non tiene conto dell'IVA e di altri oneri</p> <p>Totale prelevata <b>270.26 kWh</b></p> <p>Stima spesa <b>54.65 €</b></p>
---	--

## I MIEI CONSUMI

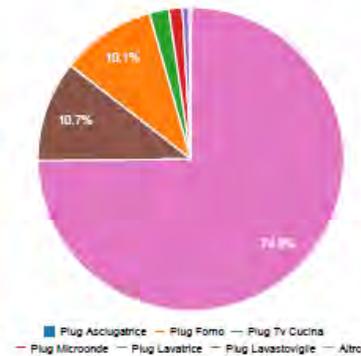
### Energia consumata giornaliera

Il grafico mostra il TUO consumo di energia confrontato con il tuo consumo medio (1.8€, 8.7kWh) nel periodo selezionato.



### Ripartizione consumi

Il grafico mostra la ripartizione dei TUOI consumi nel periodo selezionato.



### Confronto consumi mensili per anno.

Il grafico compara il tuo consumo mensile di quest'anno con quello dello scorso anno.

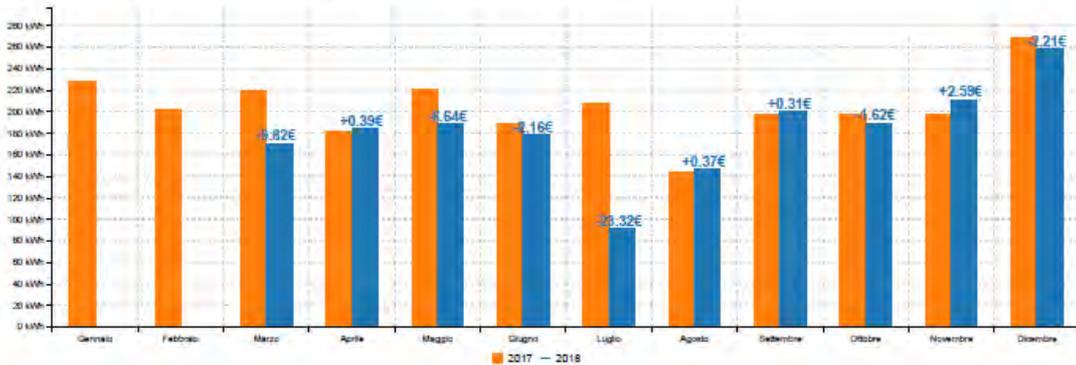


Figura 16. Report utente per il confronto con i propri consumi nel tempo e per i differenti usi finali

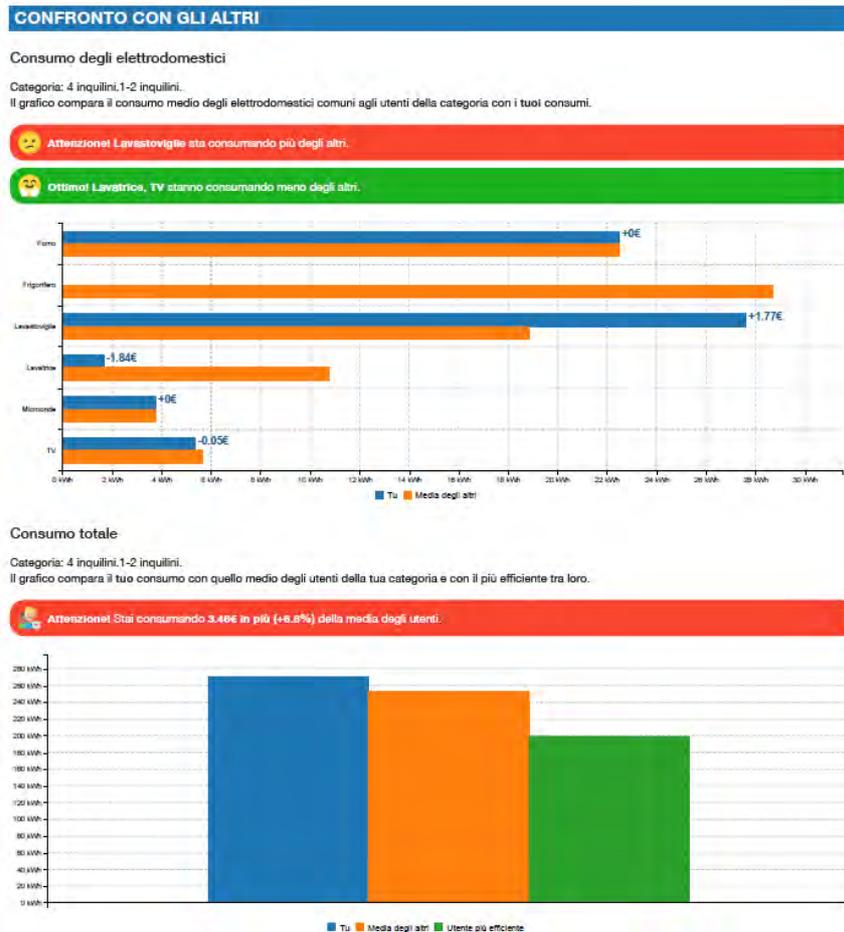


Figura 17. Report utente per il confronto tra i propri consumi e quelli degli altri

Inoltre è stata sviluppata l'App "Planimetry" al fine favorire una semplice visualizzazione e un'interazione user-friendly dell'utente con la propria abitazione. In questa App è infatti possibile disegnare, o importare da altra applicazione, le planimetrie dei vari piani che compongono l'abitazione e posizionare i sensori sulla mappa nella loro reale collocazione.



Figura 18. Esempio di mappa interattiva

Gli oggetti visualizzati nelle planimetria, sono interattivi, consentendo quindi il monitoraggio e controllo diretto dei sensori corrispondenti, installati nell'abitazione. Pertanto è possibile interagire con la sensoristica dislocata nella casa attraverso un'unica interfaccia riuscendo a localizzare immediatamente i differenti dispositivi.

Sono stati inoltre previsti vari livelli di privilegi per la visualizzazione e l'interazione con l'app: ogni utente può manipolare i propri dispositivi in base ai propri specifici privilegi ma solo gli amministratori possono editare le mappe. Questa APP consente di visualizzare e controllare real-time i differenti devices: accendere o spegnere una plug, modificare il setpoint impostato delle smart valve, visualizzare lo stato di apertura e chiusura di porte e finestre, conoscere la temperatura nei diversi ambienti, monitorare la potenza impegnata o l'energia consumata a livello di quadro elettrico generale dell'appartamento.

### 3.2 Caratterizzazione della prestazione e della gestione energetica di edifici pilota

In collaborazione con il Politecnico di Torino sono stati analizzati i dati di monitoraggio ambientali ed energetici relativi a quattordici edifici pilota, come descritto in dettaglio nel Report RdS/PAR2018/026, lo studio ha previsto analisi di simulazione energetica condotte su un edificio tipologico e rappresentativo degli edifici residenziali considerati, finalizzata a valutare l'impatto di diverse strategie di gestione e automazione sul fabbisogno energetico di riscaldamento e raffrescamento e la qualità dell'ambiente interno.

Inoltre lo studio ha previsto analisi di simulazione energetica condotte su un edificio tipologico e rappresentativo degli edifici residenziali considerati, finalizzata a valutare l'impatto di diverse strategie di gestione e automazione sul fabbisogno energetico di riscaldamento e raffrescamento e la qualità dell'ambiente interno.

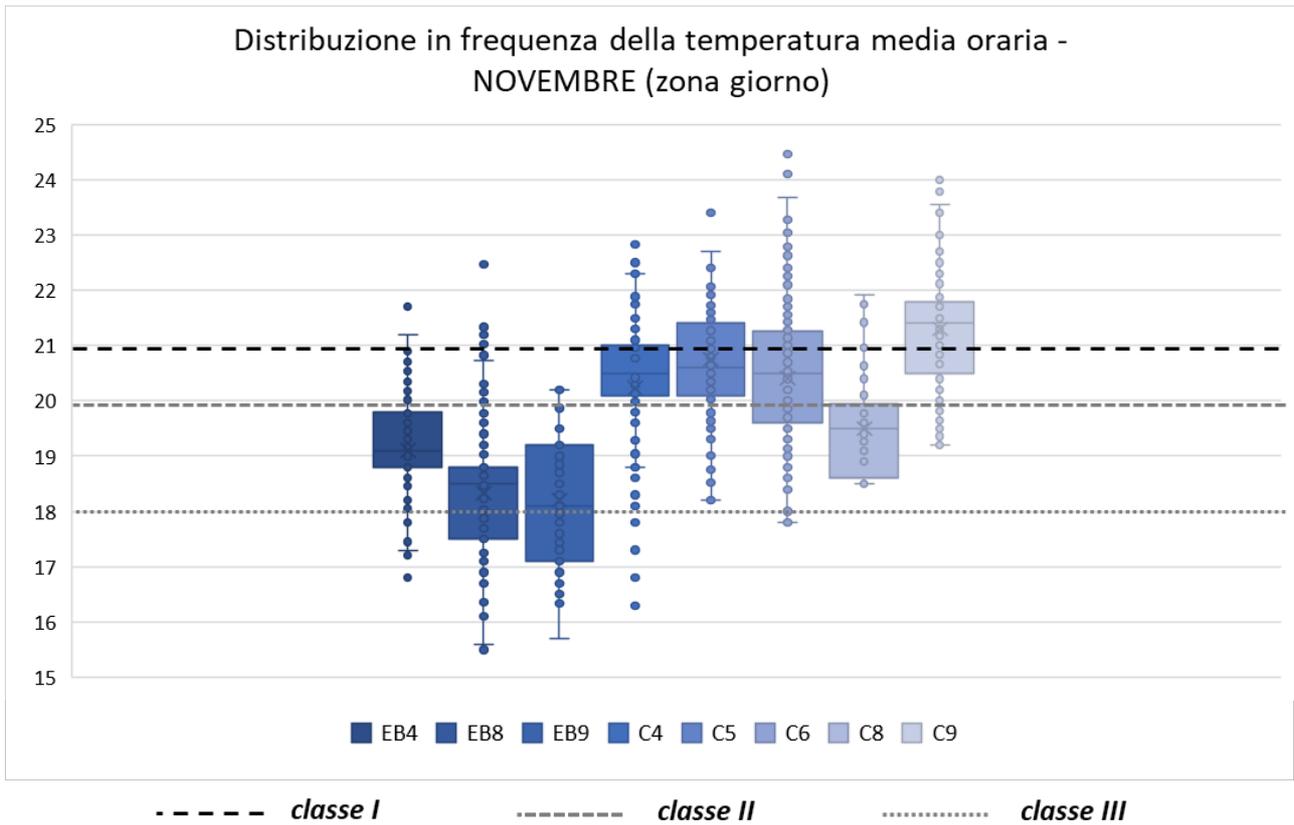
Tutte le abitazioni sono state parte delle analisi condotte nel PAR dell'annualità 2017 [7], al quale si rimanda per ulteriori dettagli circa i casi studio e le tecniche applicate. Nel presente documento ci si riferirà ai due gruppi come "C2017" o "Aggregatore 2" (dieci abitazioni) ed "E2016" o "Aggregatore 2" (quattro abitazioni). Lo studio ha previsto in prima battuta la verifica della continuità di acquisizione del sistema di monitoraggio presente nei quattordici casi pilota e della significatività dei dati acquisiti. Le analisi condotte sono state differenziate, in accordo alle caratteristiche delle abitazioni (es. presenza/assenza di climatizzazione estiva) e alla disponibilità di dati in termini di copertura, significatività e periodo di monitoraggio.

#### 3.2.1 Caratterizzazione dell'ambiente interno

L'analisi condotta ha interessato i dati di monitoraggio (corrispondente al periodo settembre-novembre 2018) delle temperature interne delle quattordici abitazioni pilota EB2016 e C2017, con l'obiettivo di caratterizzarne il comportamento in termini di qualità termica raggiunta. La non completa copertura del *dataset* ha reso necessario escludere dalle analisi cinque abitazioni. Il *dataset* delle restanti (EB4, EB8, EB9, C4, C5, C7, C8, C9) è stato ripartito in due periodi: pre-riscaldamento (corrispondente a settembre e ottobre) e riscaldamento (novembre), per i quali sono state calcolate, per ciascun ambiente monitorato:

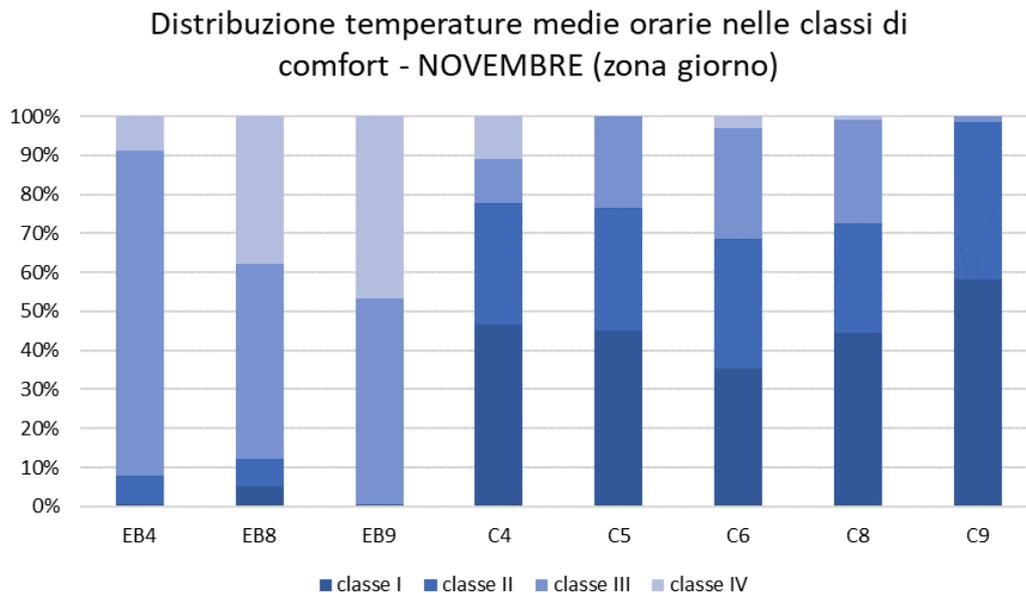
- Le temperature interne medie orarie;
- Le percentuali di ore trascorse entro le diverse classi di comfort da UNI EN 15251 (UNI EN 15251: 2006. Annex A: Recommended criteria for the thermal environment, novembre 2006) sul totale delle ore monitorate.

Per favorire il confronto tra abitazioni, le temperature interne medie orarie sono state rappresentate in termini di distribuzione in frequenza in un determinato ambiente e per i due periodi monitorati (settembre-ottobre e novembre). L'ambiente è stato scelto in base alla comunanza di destinazione d'uso tra i diversi casi pilota. Le percentuali di ore trascorse entro le diverse classi di comfort sono plottate secondo la stessa logica. Di seguito si riportano alcuni grafici esemplificativi relativi al periodo invernale (novembre). Simili analisi sono state condotte per il periodo precedente (settembre-ottobre) e al medesimo fine. Nei grafici seguenti il pedice "n" rappresenta il numero di record sulla base dei quali è stata condotta l'analisi di distribuzione in frequenza attraverso la rappresentazione box-plot.



n(EB4) = 699; n(EB8) = 180; n(EB9) = 688; n(C4) = 636; n(C5) = 652; n(C6) = 614; n(C8) = 74; n(C9) = 680

**Figura 19. Periodo invernale (zona giorno) \_Distribuzione in frequenza della temperatura interna media oraria e soglie delle classi di comfort termico per la stagione di riscaldamento**



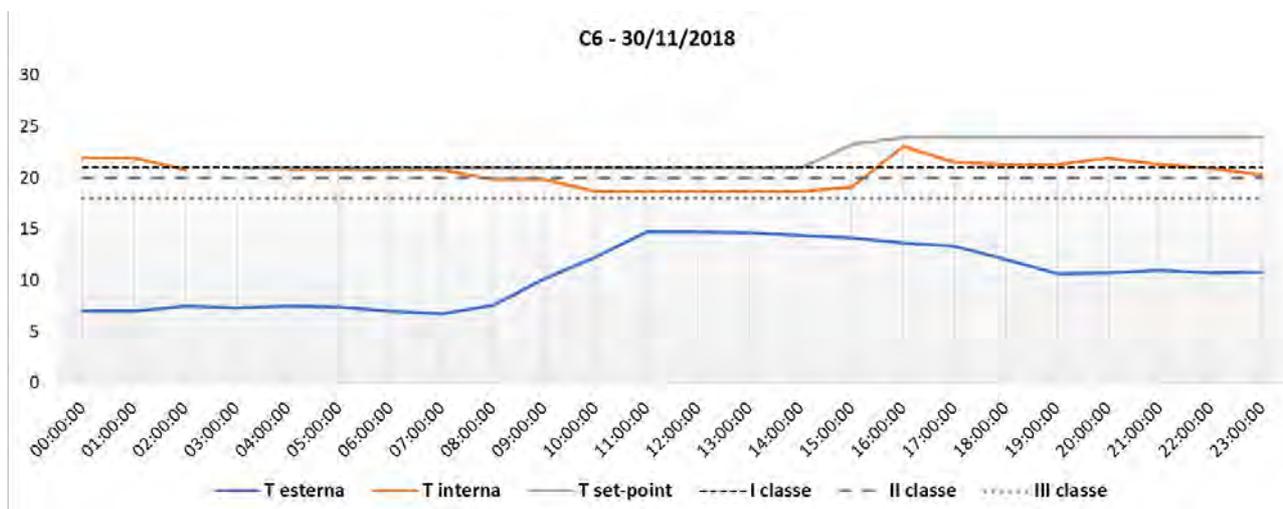
n(EB4) = 699; n(EB8) = 180; n(EB9) = 688; n(C4) = 636; n(C5) = 652; n(C6) = 614; n(C8) = 74; n(C9) = 680

**Figura 20. Periodo invernale (zona giorno) \_Percentuale di ore sulla totalità delle ore monitorate (n) nelle quali il dato di temperatura interna media giornaliera entra nei limiti delle classi di comfort termico**

Dalle rappresentazioni sopra riportate è possibile osservare come le abitazioni della sperimentazione EB2018 (“Aggregatore 1”) siano caratterizzate da temperature interne medie orarie mediamente più basse rispetto alle abitazioni C2017 (“Aggregatore 2”). Sono le stesse tre infatti che si trovano più spesso delle altre in classi di comfort III o IV (dove la classe IV è definita come di discomfort, corrispondendo a temperature inferiori ai 18°C in inverno. In particolare, l’abitazione EB9 non è mai in classe di comfort I, avendo temperature sempre inferiori ai 21°C, e in quasi il 50% dei casi si trova in condizioni di discomfort. L’abitazione C9 è quella caratterizzata dal maggior numero di ore in classe di comfort I e II, e come evidenziato in PAR17 (Capozzoli, et al., Ricerca di Sistema elettrico, Report RdS/PAR2017/008, Strategie di gestione e diagnostica della richiesta di energia per il condizionamento ambientale e della qualità termo-igrometrica di edifici pilota, 2018), è caratterizzata da un alto consumo termico specifico.

Entrambe le abitazioni C4 e C5 sono appartamenti in edifici multifamiliari risalenti alla metà del secolo scorso, e risultano paragonabili in termini di comfort termico raggiunto. Tuttavia, nell’abitazione C4 talvolta sono state riscontrate condizioni di discomfort (classe IV): essendo occupata da un lavoratore pendolare, probabilmente questo dato dimostra il funzionamento più intermittente dell’impianto di riscaldamento. Per l’appartamento C6 si evidenziano margini di miglioramento relativamente alla gestione dell’impianto di riscaldamento: pur trattandosi di un edificio nuovo, il dato di temperatura medio orario è poco stabile e i consumi termici piuttosto elevati, con una percentuale di ore in classe di comfort inferiore al 40%, nonostante l’abitazione sia occupata per buona parte della giornata.

Dal momento che la buona copertura del *dataset* non è sempre accompagnata da un altrettanto buona significatività (es. dati costanti per lunghi periodi, probabilmente a causa di malfunzionamento delle sonde), gli andamenti delle temperature interne medie orarie sono stati rappresentati insieme al dato di temperatura esterna e di set-point solamente per giornate tipo. Di seguito si riporta il caso di una giornata invernale riferita alla zona giorno dell’abitazione C6.



**Figura 21. Periodo invernale (zona giorno) \_Andamento di temperature medie orarie esterna (blu) invernale (arancione) e di set-point (grigia) a confronto con le soglie caratterizzanti le classi di comfort da UNI EN 15251**

Dalla Figura 21 è possibile osservare come la temperatura interna media oraria scenda nelle prime ore della notte per mantenersi costante fino alle prime ore della mattina. Nell’arco della mattinata scende, mantenendosi comunque in classe di comfort III (cioè sopra i 18 °C). In corrispondenza del calo della temperatura esterna media oraria, gli occupanti intervengono sul set-point programmato, innalzandolo.

### 3.2.2 Caratterizzazione dei consumi di climatizzazione estiva

I dati di monitoraggio di lungo periodo per le abitazioni dell’Aggregatore 2 hanno permesso di effettuare uno studio sui consumi e sull’utilizzo dei condizionatori presenti per l’intera stagione di raffrescamento 2018, in modo da effettuarne una caratterizzazione attraverso tecniche di Data Analytics supervisionate. La metodologia utilizzata ricalca quella sviluppata per il report del PAR 2017 (Capozzoli, et al., Ricerca di Sistema elettrico, Report RdS/PAR2017/008, Strategie di gestione e diagnostica della richiesta di energia per il

condizionamento ambientale e della qualità termo-igrometrica di edifici pilota, 2018) che analizzava dati di consumo elettrici dello stesso tipo. Dunque, i dati sono stati dapprima trattati in fase di *pre-processing*, per ottenere valori di consumo elettrico medio nelle fasce orarie tipiche considerate dall'aggregatore elettrico (i.e. F1, F2, F3), successivamente discretizzati per ottenere dei livelli discreti di consumo elettrico.

I valori di consumo medi nelle fasce orarie riferiti all'unità di superficie, sia totali che dei singoli condizionatori, sono stati discretizzati utilizzando un algoritmo di *clusterizzazione* gerarchico monodimensionale (Ward) ottimizzato tramite aSAX in modo da rifinire i valori di *breakpoints* tra gli intervalli. I consumi sono stati discretizzati in base alla distribuzione dei valori e fissando in maniera supervisionata la soglia del livello "spento" dei condizionatori a 20 Wh.

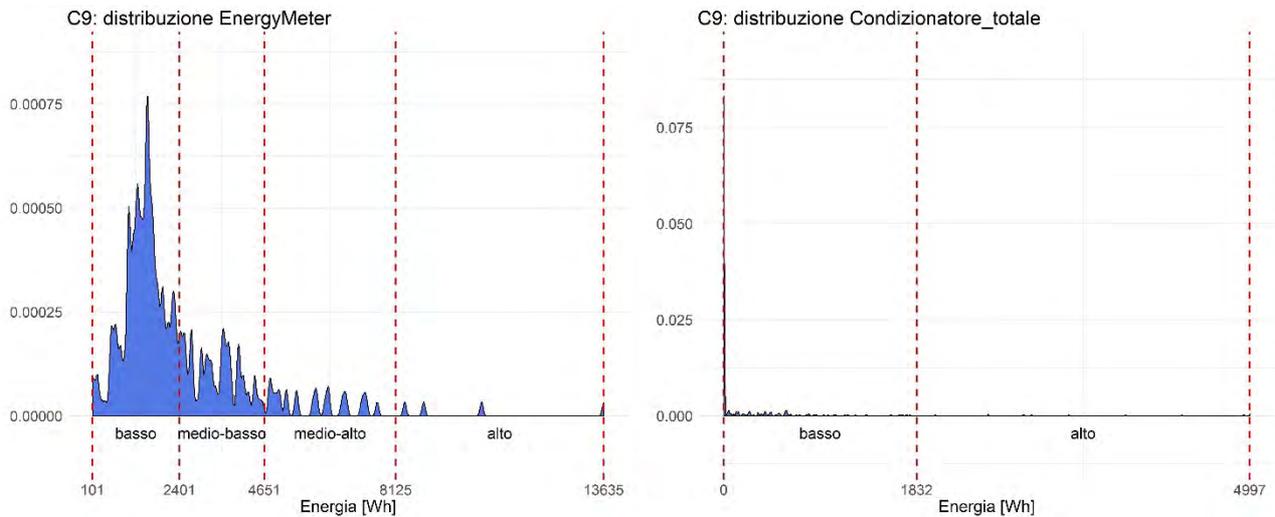


Figura 22. Distribuzioni dei consumi elettrici globali e dei condizionatori

I valori discreti di consumo elettrico dei condizionatori sono stati classificati per poterli caratterizzare, tramite la costruzione di alberi di classificazione del tipo CART che utilizzano come variabili predittive la temperatura esterna, il giorno della settimana, la fascia oraria e il livello di consumo elettrico globale. Dunque non sono state utilizzate solo variabili energetiche per caratterizzare l'utilizzo dei condizionatori. (Figura 23)

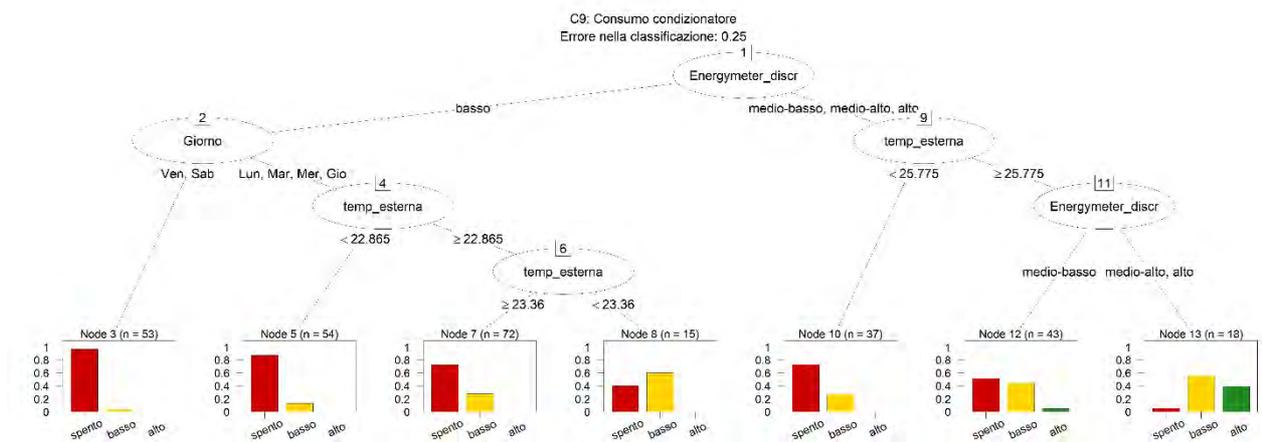


Figura 23 Albero di classificazione per la caratterizzazione dei consumi elettrici al m<sup>2</sup> dei condizionatori

Data la più ampia base di dati, la caratterizzazione assume maggiore valore di generalizzazione per questi edifici, relativamente alla caratterizzazione tramite CART e la visualizzazione tramite *Calendar plot*, che permette di identificare i giorni in cui c'è stato utilizzo dei condizionatori e con quali intensità si sono registrati dei consumi (Figura 24).

### C9: Consumo giornaliero condizionatore[Wh]

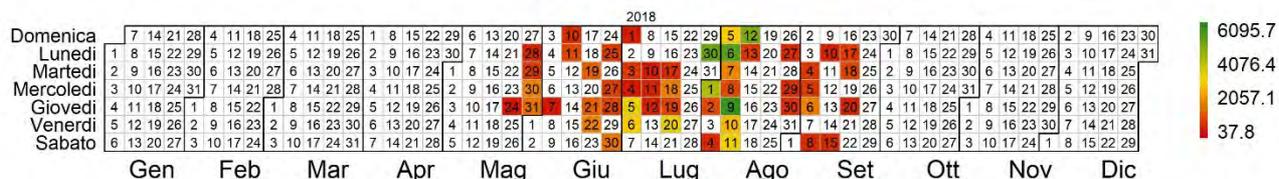
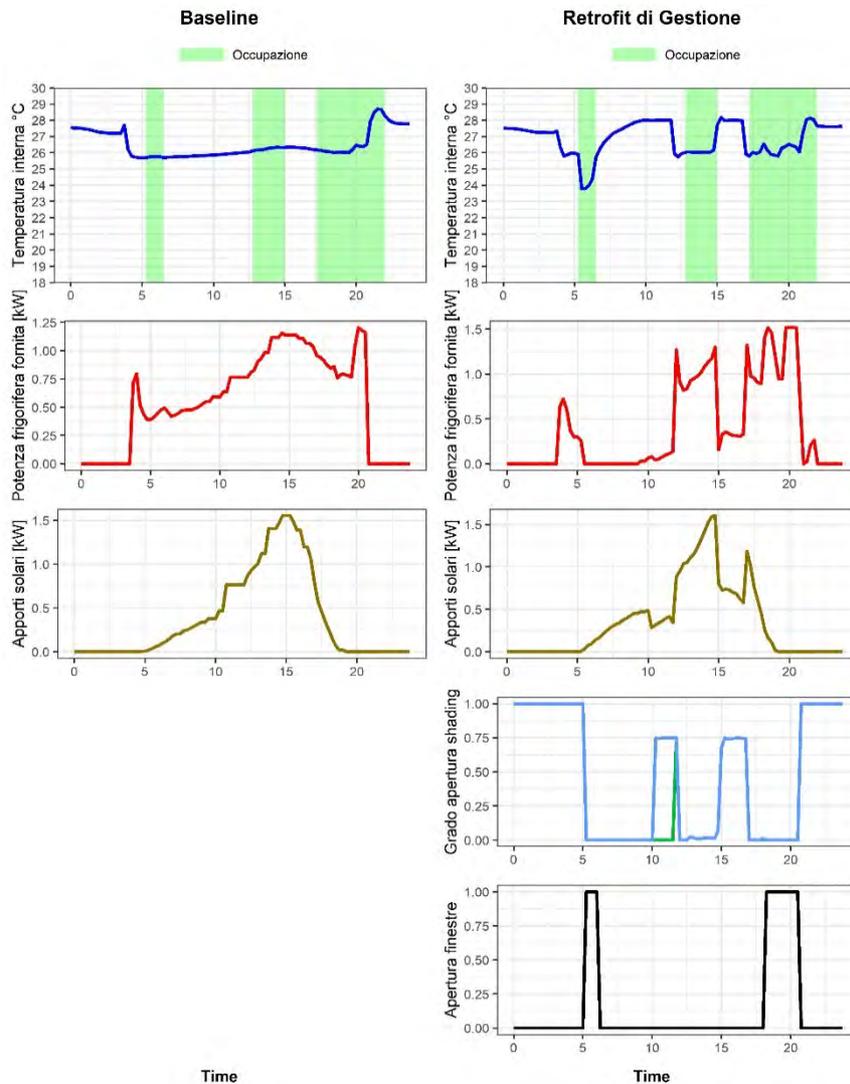


Figura 24. Calendar plot dei consumi elettrici dei condizionatori

Utilizzando un database più ampio rispetto a quello utilizzato per il report del PAR 2017 (Capozzoli, et al., Ricerca di Sistema elettrico, Report RdS/PAR2017/008, Strategie di gestione e diagnostica della richiesta di energia per il condizionamento ambientale e della qualità termo-igrometrica di edifici pilota, 2018), sono stati costruiti dei modelli di regressione per la stima del consumo giornaliero specifico dei condizionatori per due edifici della sperimentazione, poiché presentavano valori di consumo anche nel mese di settembre oltre a quelli dei mesi di luglio e agosto. I modelli costruiti sono regressioni lineari multiple che usano i valori di temperatura esterna e le ore di funzionamento per stimare il consumo specifico. Per ottenere modelli più robusti sono state eliminate le osservazioni che presentavano un valore predetto *taggabile* come *outlier* con il metodo IQR, minori di zero o con distanza di Cook maggiore di uno. In questo modo i modelli costruiti presentano alti valori di  $R^2$  e bassi valori di  $p$ , dimostrando alta correlazione tra le variabili di input e di output considerate e alta significatività delle variabili. Per analizzare la robustezza dei modelli sono state considerate anche le distribuzioni dei residui, ottenuti come la differenza tra valore reale e valore predetto dal modello, le quali risultano simmetriche, con una forma che tende a una Gaussiana e con mediana vicina allo zero.

#### 3.2.3 Scenari di gestione e automazione energetica

Attraverso il software di simulazione energetica IDA-ICE è stato analizzato l'effetto dell'implementazione di strategie intelligenti per il controllo dei sistemi automatici di una unità abitativa rappresentativa del campione di edifici analizzato. Le strategie di automazione sono state implementate per controllare i terminali di emissione di riscaldamento e raffreddamento, le schermature, l'apertura delle finestre e le sorgenti luminose dell'abitazione. I risultati mostrano che l'implementazione di tali logiche ha permesso di conseguire un risparmio significativo in termini di energia fornita all'ambiente mantenendo al tempo stesso un livello di comfort ottimale durante i periodi di occupazione. L'implementazione di tutte le strategie di controllo ha comportato un risparmio energetico di circa 20% per il riscaldamento e di circa il 50% per il raffreddamento. Nella figura 7 sono rappresentati gli andamenti della temperatura interna per una zona termica dell'appartamento e delle principali variabili che la influenzano per una giornata rappresentativa della stagione di raffreddamento. Il grafico mostra un confronto tra il caso di Baseline e il caso in cui è stato effettuato il retrofit di gestione. Si osserva come durante le prime ore della mattina il sistema di automazione sfrutta il free-cooling dato dall'apertura delle finestre per abbassare la temperatura della zona modulando di conseguenza il sistema di raffreddamento. Successivamente, il sistema di automazione non rilevando occupanti nella zona non opera il raffreddamento della zona, ma sfrutta la chiusura delle schermature per non far salire la temperatura oltre i 28 °C. Il sistema di raffreddamento interviene nei periodi di occupazione per riportare la temperatura nei range di comfort. L'implementazione di tali logiche si traduce in un risparmio di energia osservabile dai grafici nella seconda riga dell'immagine.



**Figura 25. Andamenti delle principali variabili durante una giornata tipologica estiva**

I risultati ottenuti hanno dimostrato come sia possibile caratterizzare i livelli di comfort interno delle abitazioni pilota, analizzando variabili di monitoraggio ambientale con tecniche tipiche della statistica descrittiva. In questo modo, sono stati effettuati dei confronti tra i risultati ottenuti nelle diverse abitazioni, quindi analizzando l'interazione dell'occupante con il sistema, in termini di regolazione della temperatura di set-point, per giorni tipo. Il dato di temperatura di set-point rilevato da dalle smart valve è stato messo a confronto con gli andamenti di temperatura interna e esterna. Sono state evidenziate anche le correlazioni che intercorrono tra le misure di temperatura dell'aria interna o esterna con la scelta del set-point interno, trovando associazioni che giustificano i risultati ottenuti sull'analisi dei dati ambientali.

Inoltre, sono stati caratterizzati i consumi e l'utilizzo degli apparecchi di condizionamento dell'aria, attraverso tecniche di *Data Analytics* che hanno permesso di sfruttare variabili anche non tipicamente energetiche, come fascia oraria o giorno della settimana, assieme a variabili che influenzano direttamente i consumi dei condizionatori, come la temperatura esterna. La possibilità di analizzare i dati relativi a una intera stagione di raffrescamento ha permesso di avere un quadro completo dell'utilizzo degli impianti di raffrescamento, partendo solamente dalle informazioni intrinseche ai dati di monitoraggio. Inoltre, vengono forniti anche dei modelli in grado di stimare i consumi giornalieri degli apparecchi di raffrescamento in modo da fornire uno strumento di previsione per dati futuri. Infine, per un edificio tipologico e rappresentativo del parco analizzato è stato sviluppato un modello energetico e sono state simulate diverse strategie di automazione e controllo relative a differenti dispositivi (schermature, apertura finestre, sistemi di illuminazione artificiale, impianto di riscaldamento e raffrescamento). I risultati hanno dimostrato che logiche di gestione ottimizzate possono comportare sensibili risparmi di energia per il riscaldamento e il raffrescamento garantendo nel

contempo una buona qualità dell'ambiente interno in termini di temperatura, concentrazione di inquinanti e illuminamento.

### 3.3 Interfacciamento con la piattaforma urbana SCP

#### 3.3.1 Piattaforma smarthome

E' stata implementata la piattaforma cloud ENEA dedicata alle Smart Homes monitorate. Tale piattaforma risiede su in server Enea, realizzato su una macchina virtuale, con indirizzo ip pubblico (192.107.61.63) ed è quindi raggiungibile anche dall'esterno. La piattaforma è disponibile all'indirizzo <https://www.smarthome.enea.it/>, dove è possibile accedervi tramite login. E' stato inoltre introdotto un certificato di tipo "https" per garantire una comunicazione sicura.

ApioOS, il software Cloud che gestisce le abitazioni, è installato all'interno del Server Enea dedicato. Attraverso il Cloud Enea è quindi possibile accedere alle singole board (un energybox per ogni abitazione) e quindi ai relativi sensori e servizi offerti.

Inoltre sul cloud Enea, ogni energybox comunica con una piattaforma comune di livello superiore, agendo di fatto come un unico grande sistema chiamato "Aggregatore".

Il server dedicato Enea ospita anche il Database per la storicizzazione dei dati che viene alimentato in real-time con i dati provenienti da tutte le singole abitazioni monitorate.

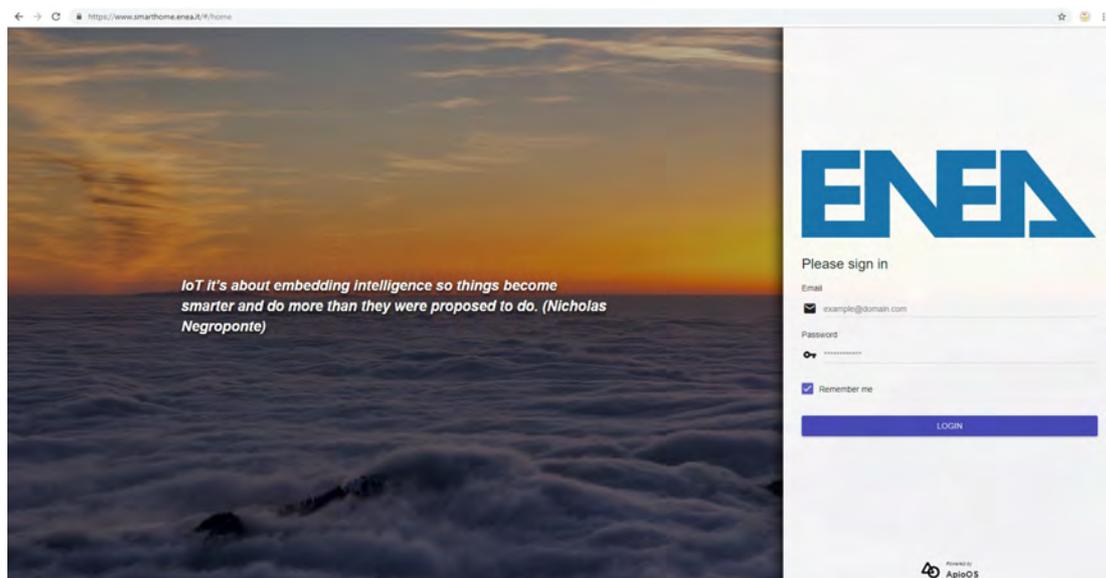


Figura 26. Piattaforma Smart Home Enea

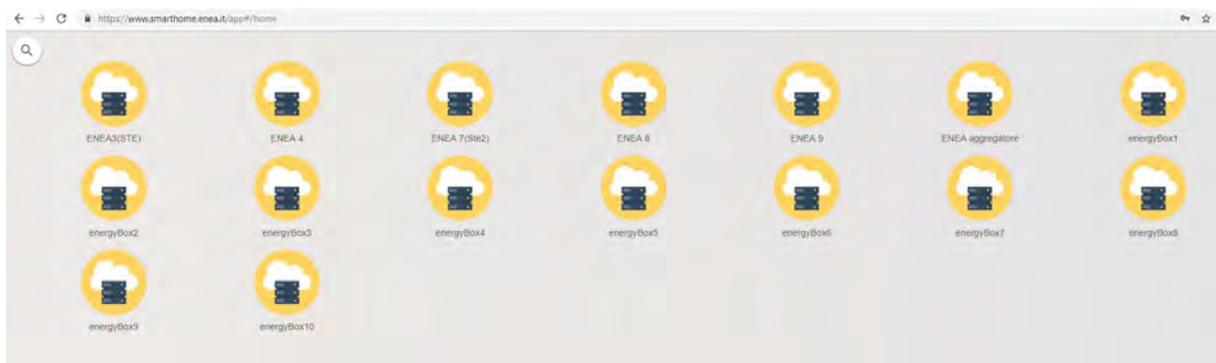


Figura 27. Visualizzazione integrata energy-box abitazioni monitorate

### 3.3.2 Invio dati tramite JSON da Aggregatore Smart Home a piattaforma urbana

E' stata realizzata l'integrazione del verticale Smart Home con la piattaforma ICT di acquisizione di livello superiore chiamata Smart City Platform, che ha lo scopo di garantire l'interoperabilità tra i diversi Contesti Applicativi dello smart district.

Sono stati quindi definiti e aggiornati i casi studio che descrivono il flusso dei dati dalla Solution del contesto applicativo verticale Smart Home alla Smart City Platform, attraverso i quali si sono definiti i dati aggregati da pubblicare.

In particolare, per consentire il monitoraggio della produzione e del consumo elettrico di ciascuno dei due aggregatori, si è proceduto con l'invio di tali dati energetici totali. Ciascun aggregatore, facente riferimento alle abitazioni di un distretto monitorato, invia pertanto i dati di "Produzione elettrica aggregata" e "Consumo elettrico aggregato" con cadenza giornaliera e mensile.

Per ciascuno di questi due dati inviati dai due aggregatori, viene generato un file di tipo JSON con una struttura predefinita. All'interno di ciascun file JSON sono inoltre sempre ripetuti i dati di caratterizzazione dell'aggregatore di riferimento, quali i "metri quadri calpestabili totali" e "numero di occupanti totali" delle abitazioni monitorate.

Per inviare gli UrbanDataset(UD) JSON, così composti, alla piattaforma ICT di integrazione (Smart City Platform, SCP), è stato utilizzato un Web Service che attraverso chiamate POST o GET permette alla Smart City Platform di recuperare i dati da ogni Solution.

Si riporta di seguito la descrizione dei Casi d'Uso relativi al task D7b nell'ambito specifico della "Pubblicazione dei dati per Smart District Platform" per il verticale Smart Homes Networks.

Nella tabella seguente la suddivisione dei casi d'uso verso/dalla piattaforma urbana, attinenti al verticale SHN in riferimento al report [8] Report Rds/PAR2015/015:

ID	Nome casi d'uso	Ambito specifico	Contesto applicativo	Area di Gestione
D7b.8.1	Pubblicazione Dati per Smart District Platform	Aggregatore Smart Home	Smart Home Network	Smart District Platform

In particolare i casi d'uso individuati e descritti di seguito sono i seguenti:

ID	Nome casi d'uso	Ambito specifico	Contesto applicativo	Area di Gestione
D7b.8.1.1	Consumo elettrico aggregato giornaliero	Aggregatore Smart Home	Smart Home Network	Smart District Platform
D7b.8.1.2	Dati aggregati di caratterizzazione edifici monitorati	Aggregatore Smart Home	Smart Home Network	Smart District Platform

Nell'Allegato 1 è riportata la descrizione dettagliata dei casi d'uso definiti precedentemente.

### 3.4 Analisi di scenari energetici per la replicabilità del modello proposto

In linea con le proposte legislative della Commissione Europea è proseguita l'analisi di sostenibilità economico-finanziaria dell'Aggregatore (secondo i tre modelli di implementazione già analizzati nel report "Studio sui modelli di business di un Aggregatore di distretto"- Report RdS/PAR2017/102 [10] ), la mappatura dei principali servizi e delle tecnologie che possono essere integrati e l'individuazione di nuovi modelli configurabili grazie ai nuovi paradigmi tecnologici.

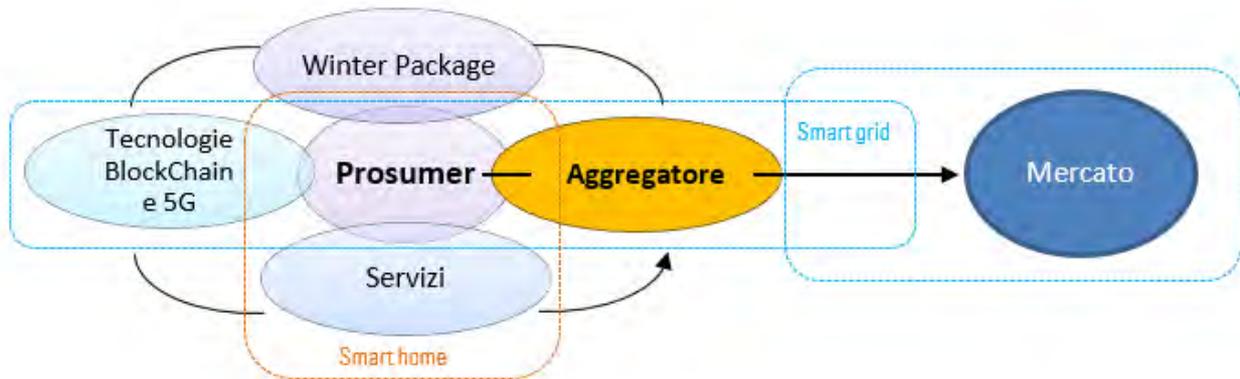


Figura 28. Evoluzione dei ruoli del Prosumer e dell'Aggregatore

#### 3.4.1 Contesto normativo e tecnologico dell'analisi

Nel precedente Report RdS/PAR2017/102, è stata esaminata nel dettaglio la legislazione in merito ai servizi di flessibilità. Ai fini del mero inquadramento dello stato dell'arte normativo si riportano di seguito i requisiti tecnici per l'abilitazione delle UVAM a fornire servizi di flessibilità sul MDS, (descritti da Terna nel regolamento pubblicato il 25 settembre 2018). Questo passaggio è volto ad evidenziare il gap normativo tra le potenzialità tecnologiche e di mercato di un soggetto Aggregatore e lo schema del mercato di dispacciamento attualmente vigente.

#### REQUISITI TECNICI PROGETTO PILOTA UVAM

- **Potenza di controllo:** nel caso in cui l'unità desideri essere abilitata sia nella modalità a scendere che a salire, la "Potenza Massima Abilitata" e la "Potenza Minima Abilitata", devono avere un valore assoluto minimo di **1 MW**. Nel caso in cui la UVAM richieda esclusivamente l'abilitazione a salire sono necessarie una "Potenza Massima Abilitata" non inferiore a 1 MW e una "Potenza Minima Abilitata" pari a 2 kW. Se la richiesta riguarda solo l'abilitazione a scendere sono richieste una "Potenza Minima Abilitata" non inferiore a 1 MW in valore assoluto e una "Potenza Massima Abilitata" pari a -2 kW.
- **Tempo di modulazione:** la UVAM deve essere in grado di modulare in incremento (riduzione) l'immissione o modulare in riduzione (incremento) il prelievo entro **15 minuti** dalla ricezione dell'ordine di dispacciamento di Terna per i servizi di risoluzione delle congestioni, riserva terziaria rotante e servizio di bilanciamento; mentre il termine è di **120 minuti** per il servizio di riserva terziaria di sostituzione.
- **Tempo di riduzione di prelievo:** la UVAM deve essere capace di mantenere la modulazione per almeno **2 ore consecutive** per i servizi di risoluzione delle congestioni, riserva terziaria rotante e servizio di bilanciamento; il limite sale ad almeno **8 ore consecutive** per il servizio di riserva terziaria di sostituzione.
- **Perimetro della UVAM:** gli impianti di consumo e i punti di immissione devono essere localizzati nello **stesso perimetro di aggregazione** definito da Terna. I perimetri geografici sono 15 e corrispondono all'incirca alle regioni italiane.

### Caratteristiche dell'aggregato di utenze

Ai fini delle analisi economico – finanziarie che seguono è risultato necessario individuare un'unità particellare differente dalla singola utenza e maggiormente congrua con la necessità di semplificazione del contesto della domanda per la verifica di fattibilità dei potenziali modelli di business dell'Aggregatore. Si considera, pertanto, quale unità di analisi l'aggregato di 1.000 appartamenti residenziali, tre uffici e un edificio scolastico; tale cluster rappresenterà l'unità su cui verranno costruiti gli scenari di aggregati di utenze oggetto di studio (evidentemente considerati come elementi modulari).

L'analisi in continuità con il precedente report è condotta su tre città riferite ad altrettante zone climatiche e di mercato elettrico differenti:

- Brescia: Zona climatica E e area mercato elettrico "Nord";
- Roma: Zona climatica D e area mercato elettrico "Centro-Sud";
- Bari: Zona climatica C e area mercato elettrico "Sud".

Le caratteristiche degli edifici e la conseguente flessibilità di carico degli stessi è determinata in coerenza con lo studio dell'Università Politecnica delle Marche [6]. In particolare si prendono in analisi edifici con sistema di riscaldamento e raffrescamento elettrico a pompa di calore, e si include per gli appartamenti la flessibilità degli elettrodomestici lavatrice e lavastoviglie, escludendo la flessibilità di altri sistemi.

### Descrizione sommaria dell'infrastruttura

Anche in accordo alla configurazione descritta nel report "Studio sui modelli di business di un Aggregatore di distretto", gli ordini di flessibilità verrebbero veicolati, secondo la configurazione di mercato al momento prospettata, anche verso soggetti Aggregatori, i quali a loro volta mediante sistemi ICT proprietari provvederebbero alle istanze con logica push nei confronti degli utenti finali del sistema.



Figura 29. Flussi informativi e monetari del Modello. Fonte: Activity, Flexcon 2018

La complessità del sistema è stata indagata prevedendo due configurazioni tecnologiche di interfaccia tra il soggetto Aggregatore e l'utente finale:

- Una basilare (Caso Base) che sfrutti architetture prettamente software come applicazioni e servizi web-based;
- Un'avanzata (Caso con Servizi Addizionali) che preveda una integrazione della dotazione hardware e software dello schema base.

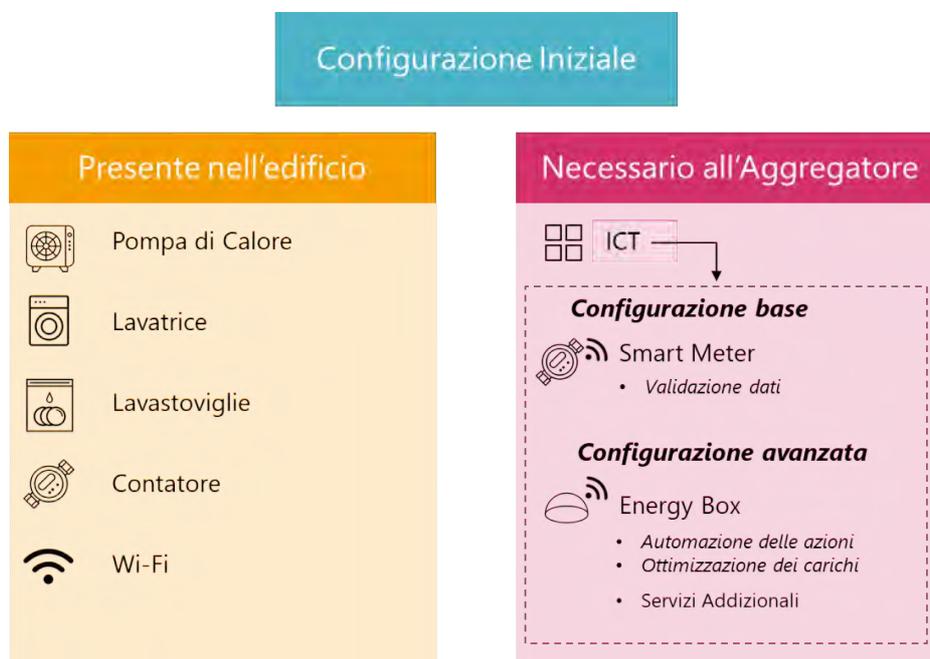
Gli ordini di flessibilità nella configurazione più basilare verrebbero condotti ad esempio tramite soli servizi di interfaccia web e/o di messaggistica su device portatili. Gli applicativi, pertanto, comunicerebbero esclusivamente al prosumer gli ordini di variazione di carico in arrivo dall'Aggregatore e fornirebbero un supporto informativo nella verifica della corretta applicazione degli ordini. Tale configurazione, se da un lato potrà avvantaggiarsi di una struttura di costi per l'Aggregatore molto snella, dall'altro, prevedendo l'assenza di logiche di comando in remoto degli elettrodomestici ad esempio, risulterà onerosa la gestione delle non conformità o l'assenza di azioni di risposta da parte dell'utente a seguito di ordini.

Nella configurazione avanzata tutta l'infrastruttura base verrebbe, invece, integrata sostanzialmente con l'introduzione di un Energy Box e device per il controllo e monitoraggio remoto di sistemi presenti presso l'utente. La configurazione avanzata oltre a consentire, quindi, una automatica operatività sul mercato della flessibilità permetterebbe l'ampliamento della gamma di servizi veicolabili verso l'utenza.

Stante la non ancora consolidata presenza di smart meter 2G presso le utenze elettriche, in entrambe le configurazioni è stato considerato necessario l'utilizzo di uno smart meter aggiuntivo al contatore esistente

in grado di registrare e comunicare le variazioni di potenza, i consumi dell'utenza atomica, nonché di validare i dati delle misure.

In Figura 30 si riporta uno schema semplificato che illustra la configurazione dei dispositivi presi in considerazione.



**Figura 30. Configurazione dell'utenza domestica, unità atomica dell'aggregato**

### Gap analysis tra il contesto normativo del mercato della flessibilità e le caratteristiche dell'aggregato

In questo contesto, a valle delle simulazioni la flessibilità complessiva degli aggregati risulta significativa nella fascia del giorno che va dalle 06.00 alle 21.00, periodo in cui si considera operativo l'impianto di riscaldamento e raffreddamento. I valori minimo, massimo e medio di flessibilità dell'aggregato risultano simili nelle diverse zone:

- Flessibilità min: 100 kW,
- Flessibilità max: 1.000 kW,
- Flessibilità media: 500 kW.

Dal punto di vista normativo si riscontrano alcune criticità rispetto ai requisiti tecnici delle UVAM indicati nella Delibera 422/2018 dell'Autorità. La tabella seguente riporta la rispondenza ai requisiti dell'aggregato oggetto di analisi.

**Tabella 12. Gap Analysis normativa**

Grandezza	Requisito		Rispondenza
<b>Potenza di controllo</b>	Massima Abilitata per servizio a salire	1 MW	X
	Minima Abilitata per servizio a salire:	2 kW	X
<b>Tempo di modulazione</b>	Servizi di congestione, terziaria rotante, e bilanciamento	15 min	✓
	Servizio di terziaria di sostituzione	120 min	✓
<b>Tempo di riduzione</b>	Servizi di congestione, terziaria rotante, e bilanciamento	2h	✓
	Servizio di terziaria di sostituzione	8h	X
<b>Perimetro di aggregazione</b>		Medesimo	✓

I grossi limiti dell'aggregato sono da ricercarsi nella potenza disponibile alla flessibilità, che nella maggior parte delle ore dell'anno non è adeguata al requisito minimo di potenza di controllo. L'offerta minima

prevista dal regolamento è di 1 MW e corrisponde al limite superiore della capacità di regolazione dell'aggregato in analisi. Un'ulteriore criticità è legata al tempo di fornitura del servizio di riserva terziaria di sostituzione, che richiede 8 ore di continuità, mentre l'aggregato - non avendo una disponibilità continua di flessibilità – non sempre è in grado di fornire.

### 3.4.2 Simulazioni di sensitività sull'entità dell'aggregato di utenze

Sono stati individuati i livelli di mercato in grado di rendere sostenibili dal punto di vista economico i Modelli di Aggregatore - analizzati nel report "Studio sui modelli di business di un Aggregatore di distretto".

- **Modello Utility.** In questo primo modello la figura del fornitore e quella dell'aggregatore coincidono; perciò non sarà necessaria la presenza di un Balance Responsible Party (BRP) esterno. Il principale vantaggio delle utility è che il fornitore è già un aggregatore di domanda: il suo portafoglio clienti si configura già come un possibile pool di flessibilità. Inoltre, il fornitore può sfruttare la possibilità di integrare la flessibilità come parte di una serie di servizi già offerti al cliente.
- **Modello ESCo.** È un modello di aggregatore indipendente, che vede come beneficio principale l'aumento del grado di concorrenza di mercato per i servizi di Demand Side Management (DSM). A differenza della utility, la ESCo (Energy Service Company) non si occupa della fornitura di elettricità, di conseguenza il BSP può essere esterno o costituirsi come interno. I principali vantaggi operativi sono legati alla presenza della ESCo nel mondo dell'energia che si traduce in competenza, disponibilità di potenziali clienti e vocazione alle pratiche di risparmio energetico. La ESCo tuttavia è spesso avulsa dall'attività di trading e generalmente la ridotta capitalizzazione ne mina l'accesso al mercato dei capitali.
- **Modello Energy Community.** Le caratteristiche di quest'ultimo modello sono meno definite, in quanto la energy community (EC) può configurarsi in diverse modalità a seconda della sua conformazione. Analogamente alle utility, l'EC ha già disponibile un pool di clienti (i quali costituiscono la comunità stessa) e gestisce gli impianti di produzione di elettricità in funzione della domanda. Inoltre all'interno delle comunità energetiche è possibile sviluppare internamente il servizio di bilanciamento ed instaurare modalità di collaborazione tra i diversi prosumer.

### Metodologia di analisi

Ai fini della presente analisi risulta utile descrivere in forma matriciale e sintetica le sezioni principali del modello di calcolo, con le voci di ricavo e di costo in relazione ai modelli di business sopra elencati. Oltre alle voci di ricavo core proprie dell'Aggregatore (operatività su MSD) sono state previste ulteriori introiti derivanti dal trattenimento di quote del minor consumo di energia (ascrivibile al risparmio energetico) e dall'ottenimento di Certificati Bianchi connessi al cambiamento comportamentale dell'utenza finale.

La voce dei servizi addizionali è indicata come opzionale, in quanto connessa ai costi di fornitura degli Energy Box (nel nostro modello considerati a carico del soggetto Aggregatore) e approfondita con una specifica analisi di sensitività. L'apparato hardware potrebbe essere, inoltre, idoneo a veicolare ulteriori servizi (definiti "Personal Care") evidentemente non correlati (direttamente o indirettamente) ai mercati energetici e, stante la specificità degli stessi non contemplati nel presente studio.

Per quanto concerne gli introiti dell'Aggregatore la tabella seguente rappresenta le voci di ricavo applicabili per ciascun modello.

**Tabella 13. Struttura dei ricavi per i diversi modelli di Aggregatore**

	EC	ESCo	Utility
1 Vendita su mercato MSD	✓	✓	✓
2 Corrispettivo fisso della Capacità	✓	✓	✓
3 Addebito sul risparmio energetico	✓	✓	✗
Quota % trattenuta dall'Aggregatore	(20)	(15)	-
4 Servizi Addizionali	☑	☑	☑
5 Certificati Bianchi	✓	✓	✓

Legenda: ✓ Voce prevista ✗ Voce non prevista ☑ Voce Opzionale

Nella valutazione dei costi operativi o OPEX (OPERating EXPense) e nella valutazione dei costi di investimento o CAPEX (CAPital EXPenditure) si sono considerate le sole voci potenzialmente incrementalmente rispetto ad una possibile struttura Organizzativa già esistente ed operativa. Tale paradigma di approfondimento è valido in particolare modo per modelli riferibili a ESCo e Utility, dove alcune delle competenze e delle risorse necessarie potrebbero essere già presenti a livello di gruppo e quindi oggetto di empowerment.

Per quanto concerne i costi operativi dell'Aggregatore la tabella seguente rappresenta le voci di OPEX applicabili per ciascun modello.

**Tabella 14. Struttura dei costi operativi per i diversi modelli di Aggregatore**

			EC	ESCo	Utility
1	Costi di mercato	Fee di adesione riconosciuta al Cliente finale	✓	✓	✓
2		Costi di risalita e riacquisti su MI	✓	✓	✓
3		Rinuncia alla marginalità su energia fornita	✓	✓	✗
4		Sbilanciamenti	✗	✗	✗
5	Costi del Personale e Amministrazione	Direttore Business Unit	✓	✓	✓
6		Account Manager	✗	✓	✓
7		Amministrazione	✓	✓	✗
8		Funzione Sviluppo ICT	✗	✓	✗
9		Canone piattaforme ICT	✓	✗	✗
10		Funzione Trading	✗	✓	✗
11		Assistenza / call center	✓	✓	✗
12		Costi di struttura	✓	✗	✗
13		Costi di R&D, sviluppo commerciale e marketing	✗	✓	✓

Legenda. ✓ Voce prevista ✗ Voce non prevista

Per quanto concerne i costi di investimento dell'Aggregatore la tabella seguente rappresenta le voci di CAPEX applicabili per ciascun modello.

**Tabella 15. Struttura dei costi di investimento per i diversi modelli di Aggregatore**

			EC	ESCo	Utility
1		Piattaforma ICT	✗	✓	✓
2	Software	Integrazione della piattaforma nel proprio ERP	✗	✓	✓
3		Nuovo modulo di gestione commerciale	✓	✓	✓
4	Hardware	Smart Meter dedicato	✓	✓	✓
5		Energy Box per servizi addizionali	☑	☑	☑

Legenda

✓ Voce prevista

✗ Voce non prevista

☑ Voce Opzionale

### Scalabilità dei carichi e definizione delle capacità minime per la sostenibilità economico-finanziaria dei Modelli

L'analisi è stata condotta al fine di individuare il numero minimo di Aggregati di utenze che consenta, dati gli schemi di ricavo e di costo descritti, il raggiungimento della sostenibilità economico-finanziaria di ciascun modello di Aggregatore. Per l'individuazione del livello minimo di Aggregati di utenze si è ipotizzato un rendimento (minimo) atteso per la linea di business di ciascun modello.

L'individuazione di un rendimento minimo rappresenta un esercizio complesso dato che deve tener conto delle caratteristiche del mercato in cui l'intrapresa si inserisce, della struttura di costo e di rischio propri dell'Organizzazione. Nella nostra analisi è stato, , definito uno standard di redditività in termini di Tasso Interno di Rendimento (tabella seguente) per ognuno dei tre modelli di Aggregatore in funzione della

possibile mission aziendale, della valutazione del rischio di impresa e della tipologia di interrelazione che si genererebbe tra l'Aggregatore e l'utenza finale e gli stakeholder

**Tabella 16. Rendimenti obiettivo per tipologia di Organizzazione**

Organizzazione	TIR Obiettivo
Energy Community	8,0%
ESCo	12,0%
Utility	10,0%

### Caso Base (assenza di Servizi Aggiuntivi)

Nel caso base non si prevede l'introduzione di EB e quindi non contempla voci di ricavo e di costo derivanti dall'introduzione di servizi aggiuntivi. Di seguito si indicano in tabella le condizioni di analisi.

#### Descrizione dei servizi e dei costi aggiuntivi

Servizi aggiuntivi	×
Costo Energy Box	-

Date le ulteriori condizioni di analisi sopra descritte il modello di verifica è stato utilizzato al fine di individuare il numero di Aggregati necessari alla sostenibilità economico-finanziaria della linea di business. Come mostra la tabella seguente per modello di aggregatore e area di mercato.

**Tabella 17. Numero di aggregati per la sostenibilità economica dei Modelli nel Caso Base**

nn di Aggregati	Area di mercato (Area geografica)		
	Nord (Brescia)	Centro-Sud (Roma)	Sud (Bari)
Energy Community	35	28	Non congruo
ESCo	54	29	Non congruo
Utility	60	27	Non congruo
Risultato migliore			
Risultato peggiore			

### Sensitivity 1 - Introduzione di servizi aggiuntivi di tipo "core"

Nella prima Sensitivity si prevede la valutazione di ulteriori costi di investimento propedeutici all'introduzione di servizi aggiuntivi definibili come "core" nel paradigma di business di un Aggregatore quali ad esempio l'inseguimento dell'ottimizzazione dei carichi/consumi per l'utenza finale e servizi commerciali evoluti sul contratto di fornitura.

Tale soluzione implica l'installazione di un Energy Box presso ogni utenza, in grado oltre che di interagire con lo smart meter dedicato anche di gestire i device connessi ad esempio agli elettrodomestici (evidentemente solo in ottica di fornitura di flessibilità) presso l'utente.

Di seguito si indicano in tabella le condizioni di analisi.

#### Descrizione dei servizi e dei costi aggiuntivi

Ricavo per i servizi aggiuntivi "core"	120	€/anno/utenza
Costo Energy Box	600	€/utenza una tantum

Date le ulteriori condizioni di analisi sopra descritte il modello di verifica è stato utilizzato al fine di individuare il numero di Aggregati necessari alla sostenibilità economico-finanziaria della linea di business come mostra la tabella seguente per modello di aggregatore e area di mercato.

**Tabella 18. Numero di aggregati per la sostenibilità economica dei Modelli nella Sensitivity 1(servizi core)**

nn di Aggregati	Area di mercato (Area geografica)		
	Nord (Brescia)	Centro-Sud (Roma)	Sud (Bari)
Energy Community	5	5	7
ESCo	10	9	27
Utility	7	6	12
Risultato migliore			
Risultato peggiore			

### Sensitivity 2 – Introduzione di servizi aggiuntivi di tipo “premium”

In tale fase si prevede l'introduzione di voci di ricavo e di costo derivanti dall'introduzione di ulteriori servizi rispetto a quelli “core” e definibili come “premium” nel paradigma di business di un Aggregatore ovvero riconducibili ad esempio al settore della casa domotica, dell'home automation system living o comunque orientati a concetti connessi all'efficienza energetica, alla domotica e alla sicurezza in ambito residenziale e terziario. Nella seconda Sensitivity si valuta, pertanto, l'incremento di costo dei dispositivi a 1.500 €/cadauno (Energy Box più aggiuntivi sensori e device di gestione) e un premio di ricavo pari ad ulteriori 300 €/utenza. Di seguito si indicano in tabella le condizioni di analisi.

#### Descrizione dei servizi e dei costi aggiuntivi

Servizi aggiuntivi	300	€/anno/utenza
Costo Energy Box	1.500	€/utenza una tantum

Date le ulteriori condizioni di analisi sopra descritte il modello di verifica è stato utilizzato al fine di individuare il numero di Aggregati necessari alla sostenibilità economico-finanziaria della linea di business, come evidenziato dalla tabella 13.

**Tabella 19. Numero di aggregati per la sostenibilità economica dei Modelli nella Sensitivity 2 (servizi premium)**

nn di Aggregati	Area di mercato (Area geografica)		
	Nord (Brescia)	Centro-Sud (Roma)	Sud (Bari)
Energy Community	3	3	4
ESCo	5	4	6
Utility	3	3	4
Risultato migliore			
Risultato peggiore			

### Sensitivity 3 – Individuazione di un prezzo obiettivo per i servizi aggiuntivi

La terza sensitivity mira ad indagare, considerando come perimetro di analisi il solo Aggregato e un costo base dell'Energy Box, il prezzo obiettivo dei servizi aggiuntivi tale da rendere sostenibili i Modelli.

Di seguito si indicano in tabella le condizioni di analisi.

#### Assunzioni della Sensitivity 3

Nn di Aggregati	1	
Costo Energy Box	600	€/utenza una tantum

La tabella successiva riporta in forma sinottica e matriciale il prezzo obiettivo dei servizi aggiuntivi per utenza per Modello di Aggregatore e per area di mercato elettrico.

**Tabella 20. Sensitivity 3, individuazione di un prezzo obiettivo per i servizi aggiuntivi**

Prezzo obiettivo dei servizi aggiuntivi (€/a/utenza)	Area di mercato (Area geografica)		
	Nord (Brescia)	Centro-Sud (Roma)	Sud (Bari)
Energy Community	350	346	360
ESCo	376	370	395
Utility	360	354	379
Risultato migliore			
Risultato peggiore			

#### Sensitivity 4 – Valutazione di possibili aumenti di flessibilità derivanti dall'aumento dei carichi elettrici

La quarta sensitivity, date le condizioni commerciali del caso base (assenza di costi e ricavi derivanti dall'offerta di servizi aggiuntivi), restituisce il numero minimo di aggregati sufficiente capiente per rendere sostenibili dal punto di vista economico-finanziario i Modelli di Aggregatore nel caso di estesa elettrificazione dei consumi residenziali. In tale configurazione alla platea di utenze presenti nel campione di analisi viene applicata in modo omogeneo in sostituzione della potenza contrattuale di 3 kW ciascuna del caso base una potenza contrattuale, doppia, pari a 6 kW ciascuna.

La capacità di flessibilità viene assunta più che proporzionale rispetto alla potenza contrattuale delle utenze e la tabella successiva riporta in forma sinottica e matriciale il numero minimo di Aggregati di utenza per Modello di Aggregatore e per area di mercato elettrico.

**Tabella 21. Numero di aggregati per la sostenibilità economica dei Modelli nel Caso Base con elevata elettrificazione del mercato residenziale**

nn di Aggregati	Area di mercato (Area geografica)		
	Nord (Brescia)	Centro-Sud (Roma)	Sud (Bari)
Energy Community	30	25	Non congruo
ESCo	42	25	Non congruo
Utility	43	23	Non congruo
Risultato migliore			
Risultato peggiore			

#### 3.4.3 Evoluzione futura della figura dell'Aggregatore

In questo paragrafo si analizzeranno le proposte legislative del Winter package, con particolare focus sulle prospettive di evoluzione del mercato elettrico. A fianco a questa analisi si riporteranno considerazioni sullo stato dell'arte delle tecnologie dell'Internet of Things. Infine si valuterà come lo sviluppo tecnologico delle infrastrutture di ricezione, trasmissione, scambio, elaborazione ed utilizzo dei dati possano contribuire all'evoluzione dei servizi offerti dagli aggregatori di utenze domestiche, come configurati in questo studio.

#### **Evoluzione in accordo ai paradigmi del Winter Package**

Il 30 novembre 2016 la Commissione Europea ha pubblicato un pacchetto di proposte legislative meglio conosciuto come Winter Package (WP), con l'obiettivo di facilitare la transizione verso un'economia basata sull'energia pulita e di riformare la progettazione e il funzionamento del mercato elettrico dell'Unione Europea.

Il WP comprende otto proposte ed entro la fine di dicembre 2018, quattro di esse saranno state formalmente adottate, con l'accordo politico raggiunto o in vista per tutti gli altri. Gli otto dossier possono essere

raggruppati in tre categorie, rispetto agli ambiti che vanno a pianificare mercati dell'energia, cambiamenti climatici e nuove misure.

Da un'analisi generale del WP emerge come le proposte elaborate dalla Commissione Europea mirino alla creazione di un'Unione dell'Energia che possa rendere disponibile ai consumatori dell'UE energia sicura, sostenibile e competitiva a prezzi accessibili. Per raggiungere quest'obiettivo la Commissione ritiene necessario lo sviluppo di un sistema energetico integrato a livello continentale che consenta ai flussi di energia di transitare liberamente attraverso le frontiere, che si fondi sulla concorrenza e sull'uso ottimale delle risorse e si concretizzi in un'economia sostenibile, a basse emissioni di carbonio e rispettosa del clima, concepita per durare nel tempo. L'economia, costruita sull'efficienza energetica, dovrà prendere le distanze da combustibili fossili, tecnologie obsolete e modelli economici superati. Il mercato dell'energia elettrica all'interno della UE dovrà essere competitivo, flessibile, non discriminatorio, ma anche consumer-centred.

Dal punto di vista dell'aggregatore di utenze domestiche, è interessante notare come particolare attenzione venga posta sul ruolo dei consumatori, i quali sono destinati a diventare i protagonisti dei futuri mercati energetici. L'obiettivo è che in tutta l'Unione Europea i consumatori abbiano a disposizione una migliore scelta di fonti di approvvigionamento, possano usare strumenti affidabili per il confronto dei prezzi dell'energia e abbiano la possibilità di produrre e vendere energia in maniera autonoma. La riforma del mercato dell'energia, dunque, deve avvenire anche in un'ottica di rafforzamento della posizione dei consumatori, i quali grazie a una maggiore trasparenza e una regolamentazione puntuale, saranno in grado di avere maggiore controllo sulle loro scelte in campo energetico, di partecipare al mercato e di rispondere ai segnali di prezzo.

Nelle proposte della Commissione Europea si fa riferimento al diritto, per i consumatori, di godere di contatori intelligenti, fatture chiare e condizioni di switching (cambio fornitore) più agevoli. Una volta migliorato il tema della trasparenza e dell'informazione, sarà il passaggio da una produzione convenzionale centralizzata ad un nuovo sistema basato su mercati decentralizzati, intelligenti e interconnessi che aiuterà i consumatori a produrre la propria energia, stoccarla, condividerla, consumarla o rivenderla sul mercato direttamente o attraverso forme di aggregazione. In particolare, la fornitura di servizi di flessibilità da parte dei prosumer dovrà essere remunerata direttamente o tramite appositi operatori del mercato, individuati nella figura degli aggregatori di energia, figura completamente nuova che renderà possibile la vendita di servizi di flessibilità sul mercato elettrico anche ai clienti residenziali e commerciali più piccoli, i quali fino a questo momento erano stati esclusi a causa di costi di partecipazione troppo elevati qualora gestiti a livello individuale.

### **Tecnologie innovative e abilitanti: 5G, smart device, Blockchain**

In questo paragrafo si presenteranno alcuni trend di innovazione dell'Information and Communication Technology (ICT) che riteniamo abilitanti rispetto al contesto dell'Internet of Things (IoT), le cui potenzialità nell'estensione di servizi forniti da un aggregatore di utenze domestiche verranno affrontate nel paragrafo successivo. Per chiarezza espositiva, verranno discussi solo quei dettagli tecnici che determinano il fattore abilitante o comunque di interesse per il tema in trattazione.

Per dare ordine alla generica definizione di ICT nel contesto IoT, si pone la lente di ingrandimento sui concetti che riguardano potenziali applicazioni in ambito energetico. Il sistema di Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione rappresenta la componente di un business che riguarda lo scambio di informazioni, dati, input e output dei processi aziendali e industriali, ecc. Nel contesto dell'internet delle cose, si fa riferimento a tre componenti:

- RETI. Wired vs wireless ed evoluzione di quest'ultimo.
- TERMINALI: dai computer, ai data centre, agli smartphone, agli smart device di ogni tipo.
- APPLICAZIONI: servizi e prodotti di produzione, trasmissione, storage, elaborazione e "consumo" dei dati.

Secondo un output significativo del "Digital Energy Report" di Energy Strategy[14], secondo il quale uno dei rischi principali che minano la penetrazione di tecnologie digitali a servizio del mondo dell'energia è

rappresentato da una visione di breve termine, che *“sposti la maggior parte degli investimenti verso soluzioni “Energy Only”, efficienti dal punto di vista economico ma relativamente meno adatte [...] a garantire quel salto in termini di produttività che invece la “quarta rivoluzione industriale” promette di portare”*. Tale rischio, applicato all’analisi di strategie di business per un aggregatore di utenze domestiche, induce ad includere nelle valutazioni, potenziali sviluppi a lungo termine dell’investimento. In altre parole si ritiene interessante studiare le potenzialità di implementare con costi maggiori una struttura ICT in grado di includere in futuro delle funzionalità aggiuntive con l’obiettivo di garantirsi delle opportunità di business al momento non convenienti, ma potenzialmente remunerative.

Negli approfondimenti che seguono, si presentano le frontiere dell’innovazione per le tre componenti dell’IoT presentate sopra: l’ultima generazione delle reti wireless, il 5G; lo stato dell’arte dei terminali smart e la tecnologia Blockchain per le applicazioni decentralizzate.

#### **A. Innovazione delle reti: il 5G**

L’acronimo 5G sta per 5th generation, la quinta generazione di rete wireless, dopo che nell’ordine si sono succedute la rete per il cellulare (1G), quella per gli SMS (2G), la rete di accesso ad Internet mobile (3G), infine quella attuale, che ha dato l’opportunità di riprodurre video in live, cioè il 4G e la sua evoluzione LTE. Ogni passaggio è stato caratterizzato da una diminuzione del tempo di latenza, e dall’aumento di capacità e velocità nella trasmissione dei dati.

Per quanto riguarda l’aspetto tecnico l’evoluzione al 5G è legata ad un miglior sfruttamento dello spettro di frequenza per comunicazione a raggio ridotto, che necessita di ripetitori geograficamente più vicini e diffusi, portando come conseguenza l’utilizzo dei terminali stessi (smartphone, smart device) come nodi della rete. Dal punto di vista dell’abilitazione di nuove potenzialità, l’aumento di capacità, velocità e latenza, porta da un lato alla possibilità di riuscire a supportare il transito sempre più crescente di informazioni, dall’altro la possibilità di inviare e ricevere dati in maniera sempre più istantanea favorisce ovvero l’evoluzione di smart device sempre più complessi, autonomi, che operano in un contesto decentralizzato.

#### **B. Innovazione dei terminali: gli smart device**

Smart device è un termine generico per indicare un qualsiasi oggetto che sia connesso ad una rete; è la parte tangibile dell’Internet delle cose, sicuramente la componente hardware più evidente. Con il potenziamento delle caratteristiche della rete, si è reso possibile l’utilizzo e la commercializzazione di una gamma di prodotti smart, che fino a pochi anni fa rappresentavano soltanto un’ipotesi per il futuro. La prospettiva di connessione è massiccia; si pensi che, mentre l’Internet può raggiungere un limite fisico di utenti, l’Internet delle cose è composto in prospettiva di medio termine da 5.000 miliardi di dispositivi.

Inoltre è interessante analizzare lo stato dell’arte degli smart meters, già presenti nella configurazione attuale dell’aggregatore, per metterne in evidenza le potenzialità. L’ARERA[27] definisce *“smart metering”* come *“sistemi che consentono la telelettura e telegestione dei contatori di energia elettrica, gas e acqua”* e ne riassume i vantaggi principali:

- Maggiore consapevolezza dei consumi da parte del cliente finale e conseguentemente una spinta a comportamenti più efficienti o di risparmio energetico
- Miglioramento nella gestione della rete, grazie alla semplificazione nell’individuare eventuali perdite
- Nel caso di energia elettrica e gas, facilitazione del meccanismo di concorrenza nella fornitura, grazie ad una semplificazione nel determinare le letture.

Nell’incontro con le associazioni dei consumatori dell’11 gennaio 2017[19], l’ARERA fa il punto sugli smart meter di seconda generazione (2G). Sono sottolineate le opportunità di miglioramento legate alla fatturazione, alla definizione delle offerte ed al cambio di operatore, oltre le possibilità di tracciare l’impronta energetica dei consumatori. Infine l’Autorità evidenzia come gli smart meter in prospettiva possano essere protagonisti nella diffusione e nella gestione di sistemi di domotica attivi nel DSM e nel mercato di bilanciamento.

È quasi scontato concludere, ricordando come la presenza nelle case di strumenti di questo tipo porti a delle potenzialità enormi dell'estensione di servizi energetici soprattutto per quanto riguarda l'automatizzazione sia di processi decisionali che di funzionamento degli oggetti stessi.

### **C. Innovazione nelle applicazioni: Blockchain**

La tecnologia del Blockchain, è attualmente oggetto di grande attenzione. Per un'ampia trattazione delle caratteristiche tecniche della Blockchain e degli smart contract si rimanda al quarto capitolo. In questa sede ci limitiamo a sottolineare le opportunità derivanti dalla sua applicazione, nell'ambito di una prospettiva evoluzione del mercato elettrico:

- Eliminazione di intermediario;
- Potenziale spostamento del paradigma da centralizzato a decentralizzato;
- Tracciabilità del dato;
- Per quanto riguarda la sicurezza, spostamento del rapporto di fiducia dall'interlocutore alla struttura stessa della Blockchain.
- 

#### Stato di penetrazione sul mercato

L'evoluzione delle tre componenti descritte sopra segue tempistiche differenti; mentre per la rete 5G si prevede in Italia l'attivazione dei primi servizi con progetti pilota a partire dal 2020[20], la Blockchain e gli smart device si sono già affacciati sul mercato. Per quanto riguarda la prima, le opportunità di utilizzo sono ancora in fase sperimentale ed alcune barriere per l'applicazione al mercato dell'energia devono ancora essere superate (si veda a tal proposito il paragrafo successivo). Per quanto riguarda gli smart device invece, essi sono già ampiamente presenti sul mercato, anche se non ancora diffusi capillarmente tra gli utenti finali. Nel prospetto seguente riporta lo stato di evoluzione tecnologica delle tre componenti descritte sopra.

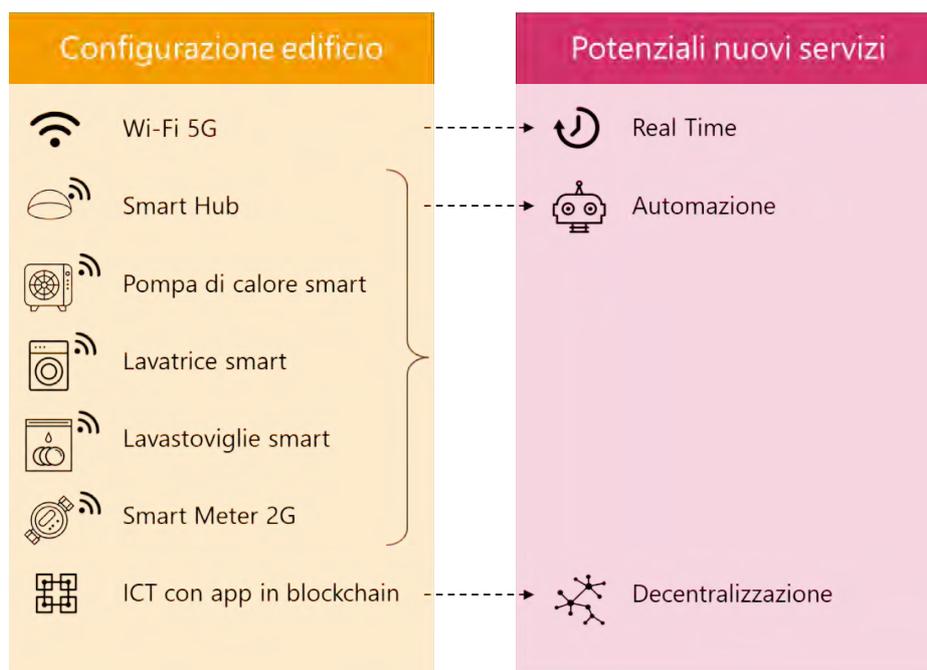
#### **Potenziali servizi del soggetto Aggregatore**

In futuro c'è da sottolineare l'importanza del consumatore, che da consumer diventa prosumer, e la sua centralità nel mercato elettrico, sia per quanto riguarda l'acquisto e la vendita dell'energia, che per la partecipazione al Demand Side Management e ai servizi di dispacciamento. La figura dell'aggregatore in questo contesto è identificata come mezzo per consentire la partecipazione del consumatore finale ed è quindi incluso con forza nelle prospettive descritte dal WP.

Per quanto riguarda l'inclusione della tecnologia nella gestione del mercato elettrico, è auspicabile lo sviluppo di sistemi smart automatizzati, con esplicito riferimento agli smart meter e alla loro utilità nel favorire switching nel mercato libero.

A valle della descrizione delle principali linee di evoluzione in ambito IoT – 5G, smart device e Blockchain – si affrontano in questo paragrafo le prospettive di nuovi servizi che i modelli di aggregatore oggetto del presente studio possono integrare nei propri modelli di business, basati su una nuova configurazione dell'edificio come rappresentato nella figura seguente.

## Evoluzione tecnologica



**Figura 31. Nuovi hardware e potenziali servizi**

Questa configurazione permette di offrire una serie di servizi aggiuntivi. Di seguito si inserisce un prospetto di diversi pacchetti di servizi potenzialmente veicolabili dalla figura dell'Aggregatore per ordine crescente di complessità e diversificazione rispetto alle prestazioni core.

**Tabella 22. Pacchetti di servizi fruibili attraverso i modelli di business dell'Aggregatore**

	Diversificazione			
	Servizi Base	Servizi Premium	Personal care	
	(Caso Base)	(Caso Servizi Addizionali)		
<b>Complessità</b>	<b>Operatività su MSD</b>	✓	✓	✓
	Verifica del proprio impatto sulla rete	✓	✓	✓
	Bolletta smart	✓ Light	✓ Full	✓ Full
	Data Manager	✓ Light	✓ Full	✓ Full
	Forecasting condizioni meteorologiche	✗	✓	✓
	Ottimizzazione automatica dei carichi	✗	✓	✓
	Ottimizzazione dei sistemi PV, storage e EV	✗	✓	✓
	Casa Domotica	✗	✓	✓
	Assisted living System	✗	✗	✓

Si analizzano poi nel concreto i nuovi potenziali servizi con applicazioni ai mercati dell'energia, considerando da un lato il perimetro di analisi del presente capitolo, dall'altro la vastità dei servizi legati all'evoluzione delle tecnologie e al relativo abbassamento dei costi. L'evoluzione della rete, culminante con l'implementazione e la diffusione della struttura 5G, porta ad un ulteriore aumento di velocità e capacità nella trasmissione dei dati, miglioramento che di fatto risulta difficile da comprendere in termini di effetto sullo sviluppo di nuovi servizi. Di fatto l'effetto principale che ha l'evoluzione della rete verso il 5G è abilitante nei confronti delle nuove tecnologie. Il fabbisogno di capacità di trasmissione e gestione dell'enorme flusso di dati legato alla

diffusione di smart devices che comunicano tra loro in maniera diffusa, necessità di una struttura di rete evoluta.

#### A. Automazione

Il primo grande cluster di servizi che sono potenzialmente abilitati dalle nuove tecnologie è quello dello sviluppo di servizi automatici. L'evoluzione è strettamente legata alla diffusione di smart device, anche se – come già accennato – rischia di avere a breve la necessità di una rete con maggiore capacità di trasmissione. Di seguito alcuni interessanti servizi legati all'automazione dei processi.

#### AUTOMAZIONE – NUOVI SERVIZI

- 1) La diffusione degli smart meter e lo sviluppo di applicazioni per il monitoraggio dei dati, peraltro già ampiamente presenti sul mercato di gestione del dato, danno la possibilità di fornire servizi di identificazione di anomalie di consumo e di manutenzione preventiva.
- 2) Sempre la diffusione di smart meter è in grado di fornire all'aggregatore l'opportunità di customizzare l'offerta per il servizio di gestione della flessibilità e, nel caso delle utility, di integrarlo alla vendita di energia elettrica. Inoltre semplifica le modalità di emissione della bolletta.
- 3) La presenza di elettrodomestici smart permette di automatizzare il processo che dalla comunicazione dell'aggregatore porta all'effettiva variazione del carico e di conseguenza di ridurre i rischi per l'aggregatore.
- 4) Il sistema automatico di gestione della flessibilità è estendibile nel caso delle utility anche alla gestione dei consumi del cliente finale. In questo caso l'aggregatore è in grado di fornire al prosumer servizi di diverso tipo sulla gestione dei carichi giornalieri; dalla fornitura della piattaforma di gestione, all'assistenza consulenziale.
- 5) L'utilizzo di smart meter di ultima generazione permette al prosumer di avere sotto controllo costante i carichi. Ciò può portare il consumatore ad essere partecipe attivamente alla strategia di mercato ed integrarsi nella definizione dei punti 3 e 4; e dare l'opportunità all'aggregatore di fornire un servizio più vicino al cliente, facilitandone l'elaborazione di offerte.

#### B. Blockchain

Un modello di particolare successo di utilizzo della struttura della Blockchain è l'implementazione tramite smart contract. Esistono già diversi esempi di applicazione dello smart contract a tematiche energetiche in letteratura [13]. Si riportano qui di seguito quelli ritenuti più significativi ai fini del presente studio:

Progetto (Paese)	Descrizione
Conjoule (Germania)	Una piattaforma di scambio è messa a disposizione di consumatori e produttori di energia da fotovoltaico. La piattaforma – gestita tramite Blockchain - ha strumenti in grado di effettuare previsioni su consumo e produzione; le transizioni sono inoltre tracciate e facilmente fruibili.
Grid+	Il progetto si basa sulla creazione di uno smart agent che compra e vende energia per conto dei consumatori e produttori. L'agente smart è implementato tramite Blockchain e acquista/vende l'energia in tempo reale, permettendo di ottimizzare l'acquisto per il singolo utente. Grid+ usa due criptovalute: il BOLT, che consente di acquistare l'energia; e il GRID, che consiste in un'opzione di acquisto dell'energia. Lo smart agent ha un costo per i clienti finali, inoltre genera guadagno dalla compravendita dell'energia dal mercato al consumatore, valorizzando la transazione con una percentuale definita. Lo

	smart agent si partecipare in futuro al bilanciamento, gestendo direttamente gli smart device del prosumer.
<b>Tal.Markt (Germania)</b>	La municipalizzata Wuppertal Stadwerke Energie & Wasser AG ha creato una piattaforma per il mercato locale di energia rinnovabile prodotta nella regione. Mentre i consumatori hanno la possibilità di utilizzare gratuitamente la piattaforma, i rivenditori pagano una fee per l'accesso. La provenienza dell'energia rinnovabile è garantita dalla Blockchain. L'obiettivo della piattaforma è quello di garantire l'offerta di energia rinnovabile in relazione alla crescente domanda dei cittadini ed al contempo di mantenere localmente il valore della produzione.
<b>Grünstromjeton (Germania)</b>	Un consorzio di 8 municipalizzate, Stadtwerke Energieverbund (SEV), promuove l'utilizzo di energia rinnovabile prodotta localmente, misurando con precisione la percentuale di fonte rinnovabile presente nell'energia elettrica utilizzata. I clienti finali ricevono una quantità di criptovaluta (Grünstromjeton) proporzionale alla quantità di energia rinnovabile consumata. La Blockchain è usata per la gestione dei dati, delle fatture e per le transazioni di criptovaluta.
<b>Power-ID (Svizzera)</b>	È un progetto pilota che mira a creare un piccolo mercato locale per gli scambi energetici P2P. Nello specifico la tecnologia svolgerà le funzioni di: garantire i pagamenti, realizzare l'incontro tra domanda e offerta energetiche e gestire le fluttuazioni tra le due. Anche in questo caso l'obiettivo è di preservare localmente il valore creato con la produzione di energia.
<b>NRGcoin (Belgio)</b>	È un progetto che promuove la produzione di energia rinnovabile prodotta localmente, permettendo ai cittadini di acquistarla tramite criptovaluta (NRGcoin). NRGcoin vengono "minati" con la produzione di energia rinnovabile, quando è incontrata la domanda di consumo. I prosumer della zona partecipano al mercato con il fine di vendere localmente la propria energia e di monetizzare la criptovaluta, contabilizzandola anche in euro. Tramite l'utilizzo della Blockchain il processo di scambio è sicuro e tracciabile e lo scopo rimane quello di aumentare il valore dell'energia prodotta localmente e ottimizzare la capacità della rete di distribuzione.
<b>Pilota TenneT e Sonnen GmbH (Germania)</b>	Il progetto pilota che connette la TSO TenneT e l'azienda produttrice di storage elettrico Sonnen mira proprio ad agire nel mercato del bilanciamento, utilizzando la tecnologia della Blockchain. Ciò che viene sfruttato è il potenziale di flessibilità dell'accumulatore e la tecnologia Blockchain è utilizzata per creare un network di storage che agisca ottimizzando la fornitura del servizio di bilanciamento.

I progetti sono, altresì, analizzati secondo il riferimento al modello a triangolo di Gassman (vedasi in [Figura 32](#)).



Figura 32. Modello Gassmann di analisi di un modello di business

Per ogni progetto si valuta:

- Chi? Il **target di clienti** a cui il modello di business è rivolto.
- Cosa? Il pacchetto di prodotti e servizi che costituisce valore per il cliente; la cosiddetta **proposta di valore**.
- Come? I processi e le attività che portano alla creazione del valore: la **catena del valore**. Sono interessate caratteristiche di: processo, tecnologia, controllo e finanziamento.
- Perché? Il **modello di reddito** del business; come l'investitore genera le entrate.

Di seguito un resoconto schematico in forma tabellare dei case study analizzati.

**Tabella 23. Case study di applicazione della tecnologia Blockchain per la fase commerciale (prettamente retail) del settore energetico**

Progetto	Dimensione e Clienti	Proposta di valore	Catena del valore	Modello di reddito	Modello di business
<b>Conjoule</b>	Locale: consumatori, produttori, prosumer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento entrate per i produttori dell'elettricità rispetto ad una feed-in tariff;</li> <li>- Maggior trasparenza, traducibile con la libertà di scelta del mix energetico in favore di prodotto locale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo: piattaforma per i clienti e compensazione per trasmissione e distribuzione</li> <li>- Tecnologia: Blockchain in Ethereum</li> <li>- Controllo: previsionale</li> <li>- Finanziamento: corporate venture</li> </ul>	n.a.	Piattaforma di mercato P2P
<b>Grid+</b>	Globale: consumatori, utilities, venditori	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminuzione dei costi dell'energia per i clienti finali</li> <li>- Diminuzione dei costi amministrativo-gestionali per utilities e venditori</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo: compravendita dell'energia dal mercato al consumatore finale; creazione di token; compensazione per trasmissione e distribuzione</li> <li>- Tecnologia: Blockchain in Ethereum e smart agent</li> <li>- Controllo: n.a.</li> <li>- Finanziamento: n.a.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Smart agent</li> <li>- Transaction fee</li> </ul>	Vendita energia
<b>Tal.Markt</b>	Locale: consumatori, produttori di energia elettrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento entrate per i produttori locali che hanno garanzia di vendere i propri prodotti energetici</li> <li>- Maggior trasparenza, traducibile con la libertà di scelta del mix energetico in favore di prodotto locale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo: piattaforma di scambio energetico</li> <li>- Tecnologia: Blockchain in Ethereum</li> <li>- Controllo: real time</li> <li>- Finanziamento: n.a.</li> </ul>	- Access fee	Piattaforma di mercato P2P
<b>Grünstromjeton</b>	Regionale: consumatori	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garanzia di domanda per i produttori locali</li> <li>- Riduzione costi energetici per i consumatori che acquisiscono la criptovaluta</li> <li>- Maggior trasparenza nell'energia utilizzata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo: creazione di criptovalute</li> <li>- Tecnologia: Blockchain in Ethereum</li> <li>- Controllo: n.a.</li> <li>- Finanziamento: n.a.</li> </ul>	- Transaction fee	Trasparenza sull'energy mix

Progetto	Dimensione e Clienti	Proposta di valore	Catena del valore	Modello di reddito	Modello di business
<b>Power-ID</b>	Locale: consumatori, produttori, prosumer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garanzia di domanda per i produttori locali</li> <li>- Maggior trasparenza circa di dati di scambio energetico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo: piattaforma di scambio energetico</li> <li>- Tecnologia: Blockchain in Ethereum</li> <li>- Controllo: real-time</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potenziali access fee</li> <li>- Transaction fee</li> </ul>	Piattaforma di mercato P2P
<b>NRGcoin</b>	Locale: consumatori, produttori, prosumer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento dei ricavi da vendita dell'energia prodotta</li> <li>- Trasparenza nell'utilizzo di energia prodotta da fonti rinnovabili</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo: creazione e scambio di criptovalute</li> <li>- Tecnologia: Blockchain in Ethereum</li> <li>- Controllo: n.a.</li> <li>- Finanziamento: Progetto di collaborazione tra università e privato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transaction fee,</li> <li>- Vendita di servizi alla rete</li> </ul>	Piattaforma di mercato P2P
<b>Pilota TenneT e Sonnen</b>	Regionale: consumatori, prosumer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminuzione dei costi dell'energia elettrica</li> <li>- Fornitura di sistemi storage e relativi applicativi software</li> <li>- Aumento dei ricavi da partecipazione al mercato MSD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo: creazione di una rete di accumulatori</li> <li>- Tecnologia: Blockchain in ambiente IBM</li> <li>- Controllo: stabilizzazione e bilanciamento della rete</li> <li>- Finanziamento: progetto in partnership</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ricavi su MSD,</li> <li>- Marginalità sui sistemi storage,</li> <li>- Fidelizzazione utenti</li> </ul>	Piattaforma di mercato di dispacciamento

Ci sono alcune caratteristiche che ricorrono tra i case study analizzati:

1. **Tracciabilità** dell'energia come proposta di valore. Si dà al cliente finale la possibilità di conoscere e prendere decisioni in merito all'energy mix consumato, generalmente incentivando l'energia prodotta da fonti rinnovabili.
2. Creazione di **criptovalute**. Come parte di processo della catena del valore ricorre sovente la creazione di criptovalute, valorizzate poi diversamente a seconda dell'estensione del progetto e dei soggetti coinvolti.
3. Valorizzazione della produzione **locale**. Il target di clienti include spesso i produttori, i consumatori e/o i prosumer locali, i quali messi in contatto l'uno con l'altro scambiano l'energia all'interno della comunità, mantenendo il valore prodotto all'interno della zona.
4. Gestione **decentralizzata** ed **automatica** delle transazioni energetiche ed economiche. Questi due aspetti sono i due paradigmi comuni a tutti i progetti che riguardano l'utilizzo della Blockchain. È importante ricordare che l'innovazione legata alla gestione automatica non è tuttavia esclusivo appannaggio della Blockchain, in quanto l'automazione è raggiungibile anche attraverso applicazioni tradizionali costruite su paradigma centralizzato. Ciò che invece contraddistingue questa innovazione tecnologica è lo spostamento dell'oggetto della **fiducia** dal fornitore del servizio, allo smart contract, che definisce e fissa i termini degli scambi, l'immutabilità del registro e la sicurezza delle transazioni basata su tecniche crittografiche.

### **Modello di business configurabile grazie a nuovi paradigmi tecnologici: la Blockchain al servizio dell'Aggregatore per la partecipazione al MSD**

Un'ipotesi di applicazione della Blockchain al business model dell'aggregatore di utenze residenziali per la partecipazione al MSD in Italia è la gestione del cluster di prosumer. In questo modo verrebbe enormemente semplificato il lavoro dell'aggregatore, che si limiterebbe a fornire un servizio di *platform-as-a-service*. L'inclusione sarebbe subordinata all'adesione allo smart contract e potenzialmente avrebbe la possibilità di creare un mercato interno di valorizzazione della flessibilità, mediante l'emissione di una criptovaluta idonea in diversi modi a seconda della tipologia di aggregatore: utilizzo esteso all'interno dell'energy community; pagamento delle bollette in caso di utility; determinazione della remunerazione finale in caso di ESCo.

Un'evoluzione del modello potrebbe includere la partnership dell'aggregatore con aziende che rivendano in primis dei dispositivi di produzione di energia da fonti rinnovabili ed in seconda istanza dei meccanismi di accumulo dell'energia elettrica, col fine di poter concorrere in pieno alla fornitura delle diverse tipologie di servizi di dispacciamento. Questo modello permetterebbe di aumentare i ricavi sia da una quota derivante dalla vendita delle tecnologie, sia da una più ampia ed efficace partecipazione al mercato elettrico.

Di seguito si presentano i punti salienti del nuovo modello di business per aggregatore di utenze domestiche volto alla partecipazione al MSD, utilizzando gli stessi parametri del triangolo di Gassmann.

**Tabella 24. Progetto pilota di collaborazione aggregatore-fornitori analizzato mediante il triangolo di Gassmann**

<b>Dimensione e Clienti</b>	<b>Proposta di valore</b>	<b>Catena del valore</b>	<b>Modello di reddito</b>	<b>Modello di business</b>
Locale Clienti: - Consumatori - Prosumer	- Aumento delle entrate per una partecipazione più efficace al mercato MSD - Fornitura di tecnologie per la produzione di energia elettrica - Fornitura di sistemi di accumulo - Diminuzione dei costi complessivi di energia elettrica	- Processo: creazione di una rete di gestione dei singoli soggetti aggregati - Tecnologia: Blockchain proprietaria - Controllo: stabilizzazione e bilanciamento della rete - Sviluppo: progetto in partnership strategica	- Access fee, - Transaction fee, - Canoni per account premium/pro, - Advertising	Piattaforma di mercato di dispacciamento

Nella trasposizione dei case study analizzati al modello di aggregatore per il MSD in Italia tuttavia rimangono alcune **criticità**. Innanzitutto si riscontra che nelle proposte di esempi di business model per la gestione della flessibilità con e senza Blockchain, si prevede per i prosumer perlomeno della capacità di autoproduzione[15] di energia elettrica, se non di storage della stessa [16] ; pertanto si è proposto un superamento della conformazione del modello stesso che preveda potenziali partnership con provider di fonti di generazione e accumulatori.

In secondo luogo, specificamente per quanto riguarda la Blockchain, tale tecnologia ha intrinsecamente dei limiti nella gestione di numerose transazioni in real time; principalmente per due motivi: il tempo di processo del dato è relativamente lungo e si estende con l'accumularsi delle transazioni; per definizione il meccanismo registra tutte le transazioni ed il file di database diventa pesante e difficilmente gestibile con l'accumularsi delle stesse. Piattaforme private come Ethereum hanno strutture più leggere, ma al momento l'applicazione della Blockchain in contesti IoT è ancora in fase di sviluppo.

Infine rimane un problema di struttura della trasmissione in Italia, che - diversamente da quanto avviene in Germania, dove convivono diversi TSO vede un unico attore, Terna. Questo costituisce una barriera allo sviluppo di applicazioni Blockchain sul MSD per in quanto la dimensione locale è più adatta tecnologicamente alla Blockchain.

Nello schema seguente si riassumono opportunità e criticità tecniche dell'applicazione della Blockchain ad un modello di business di aggregazione delle utenze domestiche per la partecipazione al mercato di dispacciamento.

Punti di forza	Punti di debolezza
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Tecnologie hardware e software cost-competitive nel breve periodo</b></li> <li>▪ <b>Tracciabilità e trasparenza del sistema</b></li> <li>▪ <b>Gestione automatica delle transazioni</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Oneri computazionali del sistema ancora da ottimizzare</li> <li>▪ Tempi di processamento e capacità di storage del dato</li> <li>▪ Modello di reddito ancora poco diffuso</li> <li>▪ Propensione della tecnologia verso dimensioni locali piuttosto che nazionali</li> <li>▪ Percezione della maggiore complessità del sistema</li> </ul>
Opportunità	Criticità / Minacce
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Gestione della flessibilità all'interno del cluster</b></li> <li>▪ <b>Fidelizzazione dell'utente finale attraverso servizi innovativi, leve di marketing e la creazione di criptovalute proprietarie</b></li> <li>▪ <b>Diversificazione dei modelli di business</b></li> <li>▪ <b>Integrazione con tecnologie di produzione distribuita e storage</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Quadro normativo</li> <li>▪ Mercato della flessibilità poco sviluppato</li> <li>▪ Evoluzione dell'Aggregatore in modelli specializzati (es. piattaforma di mercato per incontro di domanda e offerta di flessibilità)</li> <li>▪ Criticità proprie della cyber-security</li> </ul>

**Figura 33. SWOT analysis del modello di business configurabile grazie a nuovi paradigmi tecnologici**

### 3.4.4 Esiti dello studio

L'analisi di sensitività evidenzia come l'integrazione di nuovi servizi permetterebbe di raggiungere punti di breakeven per la sostenibilità dei progetti sensibilmente inferiori al caso base. L'implementazione di tale strategia si tradurrebbe quindi in vantaggi in termini di utenze da servire per quelle aree di mercato elettrico (Nord e Centro Sud) dove già i soli servizi core risulterebbero sostenibili (numero più che dimezzato rispetto al caso base) e di apertura del mercato per quelle aree (Sud) in cui i modelli con uno schema di ricavi base non troverebbero idonea sostenibilità. Performance sensibilmente migliori si registrerebbero soprattutto per i modelli di Energy Community e Utility operanti nell'area di mercato elettrico Centro-Sud. La seguente

tabella riporta graficamente i risultati dell'analisi economica svolta sugli Aggregatori per i casi Base e con Servizi Addizionali.

**Tabella 25. Performance economiche dei modelli di Aggregatore per le aree di mercato nei casi Base e con Servizi Addizionali**

	Caso Base			↑ Evoluzione ↑	Caso con Servizi Addizionali		
	Nord (Brescia)	Centro-Sud (Roma)	Sud (Bari)		Nord (Brescia)	Centro-Sud (Roma)	Sud (Bari)
Energy Community	+ <sub>-</sub>	+	-		+ <sub>+</sub>	+ <sub>+</sub>	+ <sub>-</sub>
ESCo	+ <sub>-</sub>	+ <sub>-</sub>	-		+ <sub>+</sub>	+ <sub>+</sub>	+ <sub>-</sub>
Utility	+ <sub>-</sub>	+	-		+ <sub>+</sub>	+ <sub>+</sub>	+ <sub>-</sub>

In definitiva, il modello di business dell'Aggregatore, anche nelle declinazioni verificate nello studio, apparirebbe ampiamente replicabile stante la necessità di creare valore aggiunto per l'utente finale mediante l'innovazione tecnologica legata ad una possibile gamma di servizi addizionali soprattutto in quelle aree di mercato elettrico ove la scalabilità della domanda risulti complessa o non risolutiva.

L'analisi svolta suggerirebbe, pertanto, come strategica l'integrazione nell'offerta dei modelli di Aggregatore anche di innovativi servizi addizionali, evidentemente anche non direttamente correlati con il mercato elettrico ma comunque veicolabili verso l'utenza finale mediante sistemi hardware quali ad esempio un Energy Box. Prendendo in considerazione uno scenario ad alta pervasività tecnologica in cui gli utenti finali (consumatori, produttori, prosumer) possano disporre di tool più potenti ed accessibili, emerge il rischio che venga cristallizzato o resa inefficace lo sviluppo della figura dell'Aggregatore, restringendo il suo campo d'azione alla mera piattaforma di incontro tra domanda ed offerta, con conseguenti modelli di reddito più ridotti.

L'utente finale, dal canto suo, troverebbe nell'Aggregatore già nel breve periodo un soggetto abilitante capace di permettergli non solo di essere parte attiva del nuovo paradigma di mercato elettrico ma anche di ottimizzare la propria posizione nello stesso accedendo ad esempio a nuove forme di relazioni commerciali.

### 3.4.5 Spunti di approfondimento futuri

A valle di quanto analizzato in questo capitolo, si evidenziano ulteriori considerazioni specificamente per quanto riguarda l'applicazione della tecnologia Blockchain.

In primo luogo anche se la tracciabilità del dato e lo spostamento del paradigma di fiducia dall'aggregatore alla struttura dello smart contract è sicuramente un valore aggiunto percepibile dal cliente finale è comunque necessario quantificare con maggiore esattezza tale valore.

Una metodologia di analisi potrebbe, ad esempio, prevedere un'analisi comparativa dei costi-benefici di applicazioni centralizzate e decentralizzate per la gestione di flussi energetici.

Un secondo spunto di riflessione, riguarda l'esistenza dell'Aggregatore come figura di interfaccia con il mercato in un sistema di scambio decentralizzato, come quello prefigurato con applicazioni sviluppate tramite smart contract. La tecnologia della Blockchain ha come caratteristica principale quella della creazione di relazioni P2P, in cui la figura centrale è inesistente, se non ridotta ai minimi termini. Con ogni probabilità, in questa iniziale fase pionieristica di affermazione della Blockchain, una figura che gestisca gli smart contract e ne definisca le condizioni potrebbe svolgere un ruolo importante; tuttavia, in uno scenario ad alta pervasività tecnologica in cui gli utenti finali potranno disporre di tool più accessibili e contestualmente più potenti, si prefigurerebbe il possibile contenimento della figura dell'Aggregatore a semplice piattaforma di scambio, con modelli di reddito ridotti, incapace quindi di imporsi anche nel settore dei servizi innovativi all'utente finale.

Un terzo tema di base meno legato all'evoluzione tecnologia ma direttamente connesso alla consistenza del mercato riguarda la capacità dell'utente finale e degli edifici di integrare le tecnologie abilitanti e utilizzarle ai fini dell'ottimizzazione dei propri bisogni. La quota di utenze sul territorio nazionale che utilizzino il vettore elettrico anche nella fase di riscaldamento invernale degli immobili, seppur in crescita, risulta ancora bassa. In tale paradigma di base potrebbe essere fondamentale stimare con maggiore accuratezza il potenziale immobiliare nazionale idoneo al modello studiato da un lato e dall'altro prevedere modelli che consentano la penetrazione di sistemi tecnologici integrati o misti che possano disporre di una propria logica di ottimizzazione in funzione oltre che delle condizioni meteo anche dei prezzi dei vettori e dei corrispettivi di partecipazione al mercato della flessibilità.

Infine, anche laddove fosse presente un adeguato cluster di utenze capace di rendere sostenibili i modelli di business analizzati, risulterebbe fondamentale l'indagine sulla risposta comportamentale degli utenti ai seguenti aspetti:

- ✓ Propensione a delegare a un soggetto terzo l'ottimizzazione dei propri carichi;
- ✓ Percezione del valore attribuito al comfort abitativo e trade-off con il vantaggio economico del servizio;
- ✓ Barriere all'introduzione derivanti da timori su privacy e manipolazione dei dati;
- ✓ Valore attribuito alla possibilità di usufruire di servizi aggiuntivi anche non correlati al mercato elettrico.

Le analisi suggerite sarebbero efficacemente coadiuvate dall'esistenza di un osservatorio tecnologico che aggiorni sul progressivo raggiungimento della maturità da parte della tecnologia Blockchain, anche in relazione al suo costo alla sua applicabilità a servizi specifici, insieme ad un monitoraggio costante sulla disponibilità di un bacino di clienti che raggiunga il peso critico, condizioni fondamentali per determinare l'evoluzione di modelli di business.

## 4 Sviluppo di una metodologia di Automatic Demand Response per la gestione ottimale dei carichi elettrici

In particolare in questi mesi aggiuntivi, sono stati testati protocolli di comunicazione tra il controllore e i sistemi di accumulo dedicati al prototipo di impianto progettato per verificare in campo le logiche AutoDR provate in fase di simulazione. Inoltre è stato implementato un "Proof of Concept" basato su tecnologia Blockchain per la certificazione della flessibilità energetica degli utenti elettrici.

### 4.1 Test dei protocolli di comunicazione

Dopo aver definito, nella progettazione esecutiva dell'impianto fotovoltaico con accumulo, l'architettura del sistema di Smart Metering, sono stati effettuati i primi test sui protocolli di comunicazione tra le varie apparecchiature ed il sistema di controllo. Le attività sono state svolte presso il laboratorio Campo Fotovoltaico del CR Casaccia, utilizzando degli inverter con accumulo dello stesso tipo di quelli specificati nel progetto esecutivo.

Su questi dispositivi è stato testato il sistema di Smart Metering con cui sono state svolte attività di acquisizione delle grandezze elettriche e di controllo delle strategie di funzionamento degli inverter con accumulo. Di seguito sono riportate le specifiche del protocollo di comunicazione MODBUS RTU o MODBUS/TCP con le mappe dei registri utilizzati per il monitoraggio e controllo degli inverter con accumulo e del sistema di acquisizione dati.

#### 4.1.1 Architettura di sistema, i due livelli di Metering

Il Protocollo MODBUS è un sistema di comunicazione digitale "master-slave", i cui dati sono codificati in binario ed il "master" comunica con uno o più "slave". Il master è tipicamente un sistema di controllo.

Gli slave sono spesso i dispositivi di misura, tutti collegati tra di loro in una rete in configurazione multidrop. Nel progetto in oggetto il Sistema Smart Metering si basa su due livelli di metering:

un primo livello è costituito dai registri macchina dei sistemi di accumulo e degli inverter con i quali è possibile leggere e/o scrivere nei registri MODBUS di interesse a seconda del caso.

Nel primo livello di Metering è stata inserita anche la stazione meteo per l'acquisizione dei dati di radiazione solare e di temperatura ambiente che sono parte integrante del sistema di controllo.

Il secondo livello di Metering è costituito, invece, dall'insieme degli analizzatori di potenza montati a bordo macchina dell'inverter e dei carichi (es. pompa di calore) e dal Contatore di Energia M2. Nel secondo livello di Metering abbiamo registri di sola lettura.

Le periferiche dei sensori, degli inverter e degli strumenti di misura sono equipaggiati di una interfaccia seriale isolata secondo lo standard RS-485 (ANSI).

Il settaggio è il seguente:

<b>Interface</b>	RS-485-half duplex
<b>Baud-Rate</b>	da 9.600 a 115.200 bps;
<b>Start Bit</b>	1;
<b>Stop bit</b>	1;
<b>Parity</b>	even parity
<b>Data bits</b>	8

Il controllore dell'impianto (EMS) CRIO è equipaggiato con una interfaccia Ethernet.

I gateways sono equipaggiati con ingressi MODBUS RTU ed interfaccia Ethernet MODBUS TCP/IP.

**Primo livello di Metering- Controllo e misure del sistema inverter-accumulo**

La principale funzione del 1° livello di Smart Metering è il controllo del sistema di carica e scarica degli accumuli (figura 1 fondo pagina).

Attraverso l'interfaccia RS485 a 115.000bps è possibile accedere alla mappa dei registri MODBUS per il monitoraggio ed il controllo dell'inverter React. Il produttore ABB ci ha fornito il necessario supporto per accedere alle mappe dei registri.

Le funzioni utilizzate sono state quelle di lettura e scrittura che ci hanno consentito, per mezzo di Address Register, di interagire con l'inverter ed il BMS (Battery Management System) delle batterie, in particolare:

FUNZIONI	MISURA	Unità
Lettura misure inverter	Potenza Attiva inverter	W
	Potenza reattiva	Q
	Corrente	A
	Potenza Campo Fotovoltaico	W
Lettura misure BMS	Potenza carica e scarica batteria	W
	Tensione batteria	V
	SOC	%
	SOH	%
	Temperatura batteria	°C
Scrittura BMS Control	Carica	Valore=6
	Scarica	Valore=7
	Wait	Valore=4
	Sleep	Valore=2
	Fault	Valore=8

Per quanto riguarda le misure atmosferiche è stato previsto di installare un Piranometro per la misura della radiazione solare e un Termoigrometro per la misura della temperatura ambiente e l'umidità relativa.

I due sensori verranno collegati come in fig.1 ad una delle porte dell'Ethernet Multifunction Interface Service del Gateways Moxa 3480 a 4 porte Seriali 485 MODBUS RTU.

Anche in questo caso il formato delle comunicazioni è quello del Protocollo MODBUS:

Start	Indirizzo	FUNZIONE	DATI	CRC	END
frame	(8 bit)	(8 bit)	(N x 8 bit)	(16 bit)	frame

La funzione disponibile nei due sensori è di sola lettura.

Anche per questi strumenti sono stati eseguiti dei test di comunicazione utilizzando il configuratore in dotazione.

## Controllo e Gestione Sistemi ABB REACT\_1

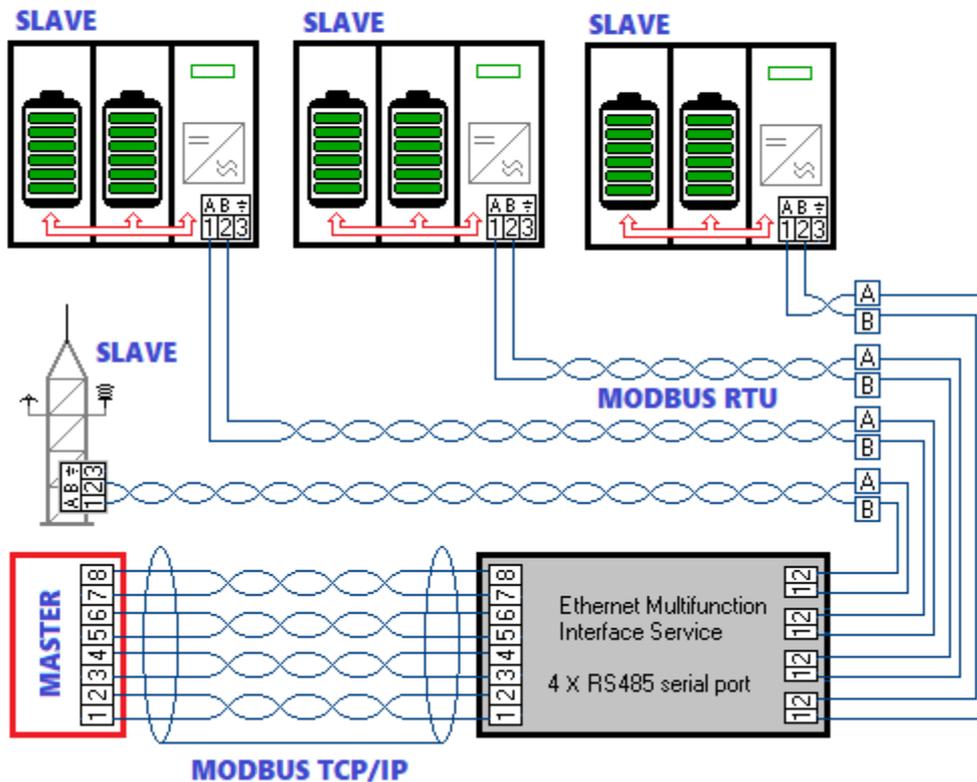


Figura 34. Primo livello di Metering, gestione e controllo con funzioni di Write e Read protocollo MODBUS RTU.

### Secondo livello di Metering- Sensori e misure grandezze elettriche

Il secondo livello di Metering è costituito dall'insieme degli analizzatori di potenza montati a bordo macchina dell'inverter, della pompa di calore e dal Contatore di Energia M2, con i quali è possibile solo leggere e definire i parametri di misura nei registri MODBUS di interesse.

Tutti questi analizzatori e sensori (in figura 2 sono mostrati quelli usati nei test) supportano il protocollo di comunicazione MODBUS RTU sulla porta seriale RS-485, la struttura del messaggio è così costituita:

Start	Indirizzo	FUNZIONE	DATI	CRC	END
frame	(8 bit)	(8 bit)	(N x 8 bit)	(16 bit)	frame

- Il campo **Indirizzo** contiene l'indirizzo dello strumento Slave cui il messaggio viene inviato;
- Il campo **Funzione** contiene il codice della funzione che deve essere eseguita dallo slave;
- Il campo **Dati** contiene i dati inviati allo slave o quelli inviati dallo slave come risposta ad una domanda;
- Il campo **CRC** consente sia al Master che allo slave di verificare se ci sono errori di trasmissione.

Le funzioni disponibili sono:

03H = Read Input	Consente la lettura delle misure disponibili dal sensore
06H = Preset single register	Permette la scrittura dei parametri (set-up di misure)

**Misure con Analizzatore di rete EMT-1C/50**

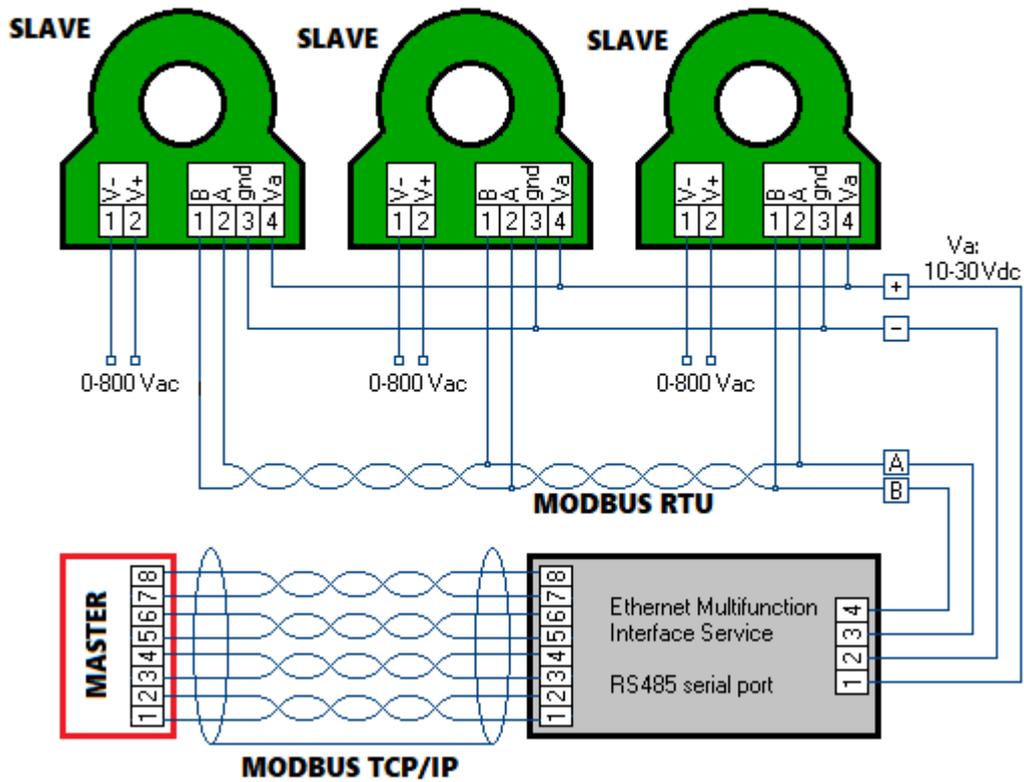


Figura 35. Secondo livello di Metering, misure da sensori con funzioni di Read protocollo MODBUS RTU.

Di seguito viene riportata la lista delle misure istantanee fornite dal protocollo di comunicazione degli analizzatori di rete utilizzando le funzioni 03H e 06H.

ADDRESS	WORD	MISURA	UNITA'	FORMATO
40073	2	Tensione	V	Float (LSW first)
40075	2	Corrente	mA	Float (LSW first)
40077	2	Potenza Attiva	W	Float (LSW first)
40079	2	Potenza Reattiva	VAR	Float (LSW first)
40089	2	CosPhi	-	Float (LSW first)
40085	2	Frequenza	Hz	Float (LSW first)

**4.1.2 Diagramma delle comunicazioni**

Il diagramma delle comunicazioni della catena di misura del sistema di Smart Metering è riportato nella figura seguente.

I sistemi di accumulo sono monitorabili e comandabili mediante un software sviluppato in ENEA che utilizza i protocolli MODBUS proprietari dei sistemi di accumulo ABB e dei trasduttori di misura Contrel.

Il sistema di Smart Metering si basa su due livelli di metering: un primo livello è costituito dai registri macchina dei sistemi di accumulo e degli inverter con i quali è possibile leggere e/o scrivere, nei registri MODBUS di interesse a seconda del caso, ed un secondo livello di metering costituito dall'insieme dei registri MODBUS dei trasduttori di potenza montati a bordo macchina (inverter e pompa di calore). Poiché il protocollo nativo delle apparecchiature è il MODBUS-RTU è stato necessario utilizzare dei gateway MODBUS RTU - MODBUS TCP/IP per consentire al controllore d'impianto (CRIO 9030) di colloquiare via TCP-IP con il sistema di Smart

Metering. Fanno parte del sistema di Smart Metering un trasduttore di radiazione solare e di temperatura ambiente montati in prossimità dei moduli fotovoltaici dell’impianto. L’acquisizione di tali grandezze fisiche avviene anch’essa sfruttando il protocollo nativo MODBUS-RTU del costruttore (Zipp&Zonen).

Di seguito nella figura n°3 è rappresentato il diagramma delle comunicazioni

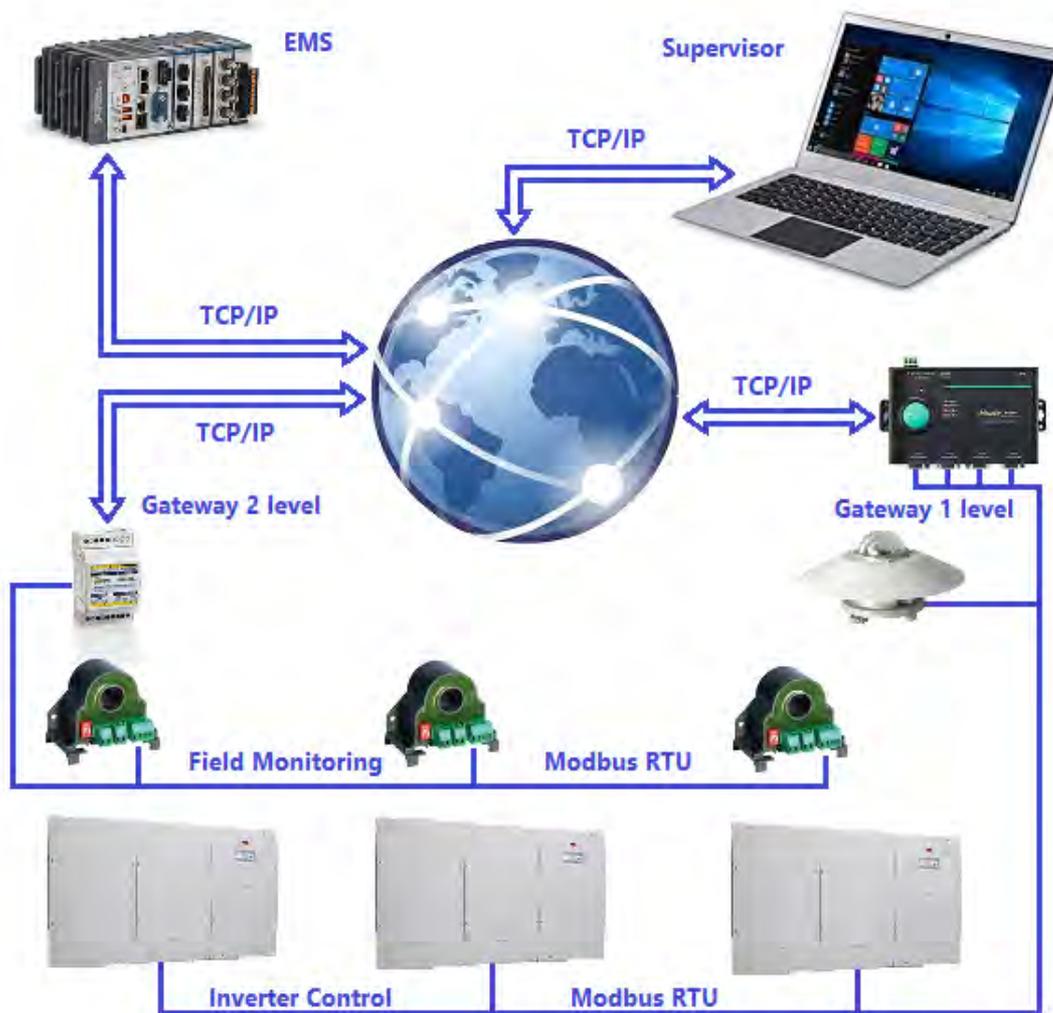


Figura 36. Diagramma delle comunicazioni

#### 4.1.3 Discussione dei risultati ottenuti da test sul campo

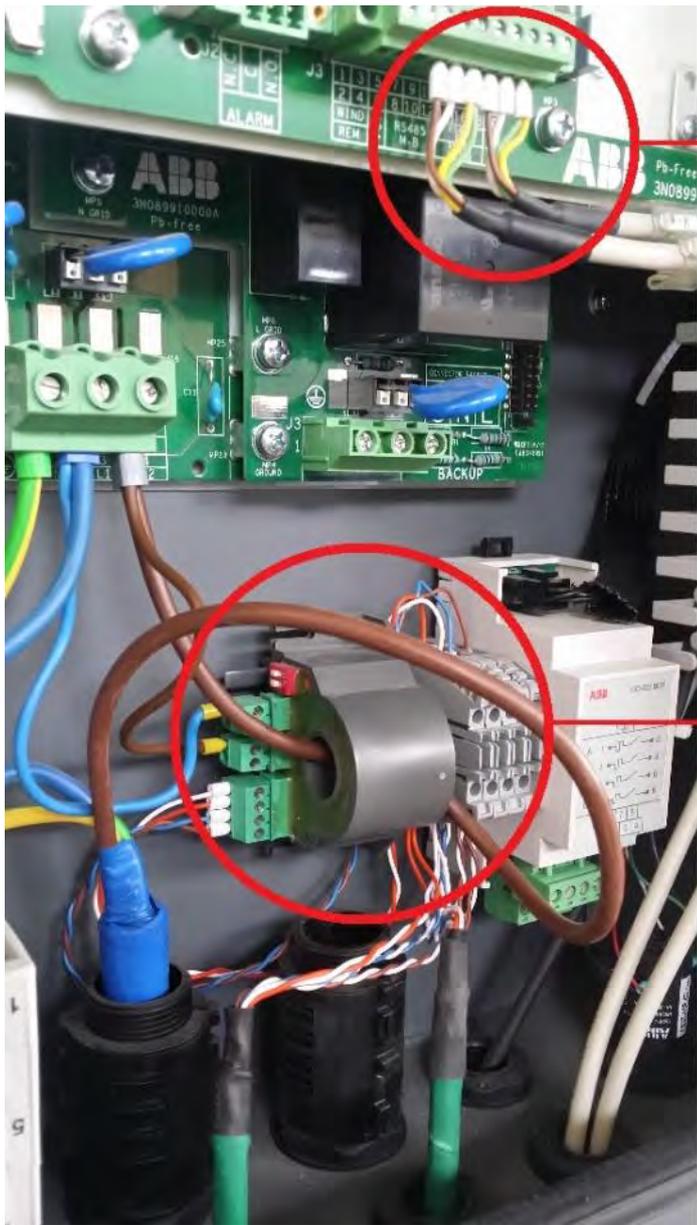
Una volta definito il diagramma delle comunicazioni e la mappa dei registri, descritti nei paragrafi precedenti, si è passati alla fase sperimentale delle attività di questo obiettivo.

Per i test sono stati utilizzati 3 inverter del tipo ABB PV + Storage REACT 4.6-TL con a corredo un accumulo di 4 kWh ciascuno collegati ad un campo fotovoltaico di 12kWp.

I tre sistemi di accumulo sono stati monitorati e comandati mediante un software sviluppato in ENEA che utilizza i protocolli MODBUS proprietari ABB per gli inverter e Control per gli Analizzatori di Potenza.

Sugli inverter ABB la linea di comunicazione RS485 è presente sulla morsettiera dedicata ai dispositivi pubblici di comunicazione e controllo (in alto a destra della figura n°4).

L’analizzatore di potenza Control è stato invece installato sul cavo di potenza che collega l’inverter alla rete, per migliore praticità e per ottimizzare gli spazi è stato installato all’interno dell’inverter ( in basso nella figura 4).



**INVERTER REACT\_1:**  
linea di comunicazione pubblica con protocollo RS485 MODBUS RTU

**CONTREL, Analizzatore di Potenza Elettrica:**  
installazione sul cavo di potenza.  
Protocollo di comunicazione RS485 MODBUS RTU

Figura 37: Installazione sensori e cavi.



**Figura 38: Il Laboratorio Campo Fotovoltaico durante i test dei protocolli di misura e controllo.**

Le tre linee bus di comunicazione provenienti dagli inverter e la linea Multidrop bus dei tre Analizzatori di Potenza Control sono collegate a due gateway. Uno Switch Ethernet Plug and Play a 16G collegato alla rete ethernet garantisce infine il colloquio tra il supervisore (EMS) ed il controllore dell'impianto, il software che è stato sviluppato in ENEA in ambiente LabView permette di visualizzare le misure e di controllare con opportuni algoritmi il funzionamento degli inverter e gli accumuli.

Stabilito il colloquio di tutta la catena di misura e Controllo sono state eseguite le seguenti verifiche:

1. Corretta comunicazione tra tutte le apparecchiature;
2. Verifica delle misure fatte dagli analizzatori di rete e del trasferimento delle stesse al Supervisore;
3. Verifica della corretta esecuzione dei comandi trasmessi agli inverter, in particolare i comandi di funzionamento in configurazione manuale, in configurazione automatica, di carica della batteria e di scarica della batteria.

1) La verifica della corretta comunicazione si evince dalla schermata di controllo a display che visualizza lo stato di funzionamento del sistema e le misure dei sensori.

In figura 6 è riportato il funzionamento di ogni singola apparecchiatura.

Lo stato dell'inverter è in modalità di gestione "Massimizzazione Autoconsumo", le batterie hanno completato il ciclo di ricarica, c'è sole e tutta l'energia fotovoltaica è immessa in rete.

Nella tabella seguente è riassunto il funzionamento dei tre inverter:

	Pac (kW)	Qac (VAR)	Iac (A)	Ps (W)	Vs (V)	Cnom (kWh)	SOC (%)	SOH (%)	T (°C)	Pdc (kW)	PV (kWp)
1 React	2,5	0	10,7	0	319,4	4,0	97,0	100	18,5	2,6	4,2
2 React	2,3	0	10,2	0	318,8	4,0	100	100	19,2	2,4	3,9
3 React	2,3	0	9,8	0	315,3	4,0	97,0	100	18,5	2,4	3,9

Dove:

Pac = Potenza attiva immessa in rete;

- Qac =Potenza reattiva immessa in rete;
- Iac = Corrente alternata immessa in rete;
- Ps = Potenza di carica o scarica della batteria;
- Vs = Tensione Batteria;
- Cnom = Capacità nominale della batteria;
- SOC = Stato di carica;
- SOH = Stato di efficienza della Batteria;
- T = Temperatura della batteria;
- Pdc = Potenza generata dal campo fotovoltaico;
- PV= Potenza di picco del campo fotovoltaico;

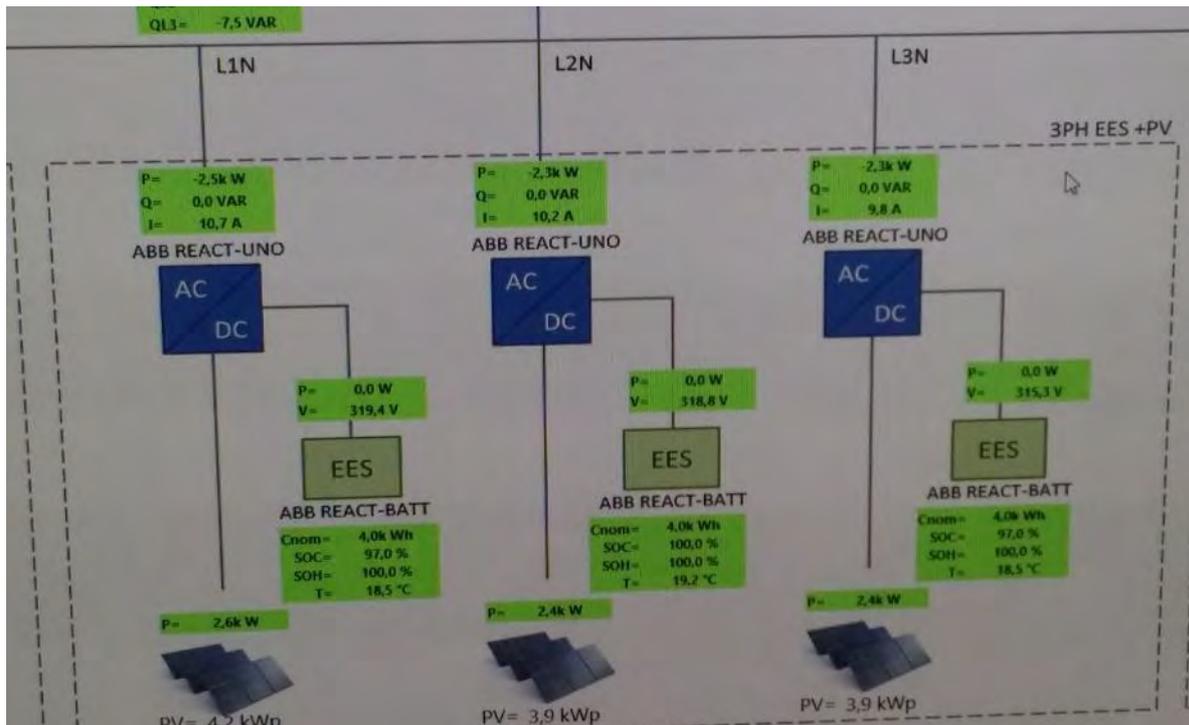


Figura 39. Display misure software di gestione e controllo.

2) La verifica delle misure fatte dagli analizzatori di rete e del trasferimento delle stesse al Supervisore è stata fatta controllando che le misure lette sullo schermo corrispondono a quelle reali per mezzo di un analizzatore di rete di precisione.

I sensori Contrel hanno confermato la seguente accuratezza:

	Accuratezza
Tensione	0,5% f.s.
Corrente	0,5% f.s.
Potenza valore efficace (TRMS)	1,0% f.s.

Le misure fornite dall’inverter hanno invece dimostrato di avere sulla potenza un errore maggiore:

	Accuratezza con $P_{out} > 20\%$	Accuratezza con $P_{out} < 20\%$
Potenza di uscita valore efficace	3% f.s.	5% f.s.

3) La verifica della corretta esecuzione dei comandi trasmessi agli inverter è stata fatta scrivendo nei registri dell'inverter.

In figura 7 viene mostrata la schermata di controllo del software sviluppato in ENEA che consente di modificare la modalità di gestione degli accumuli e definire i parametri di carica e scarica.



Figura 40. Schermata di Controllo della gestione Inverter

Con la schermata di figura 7 visualizziamo le operazioni di controllo degli inverter, in particolare la figura evidenzia la modalità di comando "Manual" degli accumuli, ossia è l'operatore che decide, mediante l'inserimento manuale dei set point di potenza desiderati il livello di carica o scarica della batteria. Con la stessa schermata è possibile stabilire i valori di SOCmin e SOCmax nonché altri parametri di interesse.

La figura 7 raffigura il momento in cui è stato dato il comando di scaricare le batterie, al REACT 1 con una potenza di 1000W, al REACT 2 con una potenza di 700W, al REACT 3 con una potenza di 500W.

Il processo di scarica si interromperà quando il SOC raggiungerà il SOCmin (20%) che, come detto, è impostabile manualmente.

Di seguito in fig. 8-9-10 vengono mostrati i tre display degli inverter ABB React che dimostrano come le condizioni imposte per mezzo della schermata di controllo siano effettivamente attuate dalle macchine. In tali condizioni, naturalmente, tutta l'energia estratta dalle batterie viene riversata in rete sommandosi a quella fotovoltaica.



Figura 41. REACT1 con batteria in scarica P discharge = 1000W



Figura 42. REACT2 con batteria in scarica P discharge = 699W

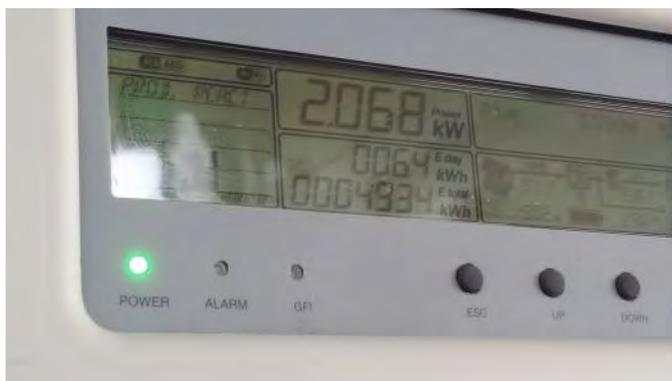


Figura 43. REACT3 con batteria in scarica P discharge = 502W

Tutte le operazioni di verifica sono state effettuate con comandi impostabili da utente al fine di verificare la corretta esecuzione delle mappe degli indirizzi Modbus ed eseguire misure e confronti in condizioni operative più o meno stabili. Naturalmente, i processi di carica e scarica possono essere espressi con algoritmi più o meno complessi legati ai carichi, alla radiazione solare, allo stato delle batterie, etc. e fatti eseguire in modo automatico. Il software sviluppato in ENEA è in grado di effettuare questo tipo di **SMART METERING**.

#### 4.1.4 Conclusioni

I test hanno evidenziato un corretto funzionamento di tutte le apparecchiature e dell'affidabilità dei Bus di Comunicazione su cui viaggiano i comandi Modbus e tutta la mappa dei registri Modbus usata nei test è stata validata. In particolare, è stato verificato il corretto invio e attuazione dei comandi di set point di potenza sulle batterie in modalità "manuale", condizione necessaria per poter sviluppare strategie automatiche di gestione degli accumuli che verranno di volta in volta individuate nelle future attività.

## 4.2 Proof of Concept di Blockchain per la certificazione della flessibilità energetica

### 4.2.1 Premessa

In passato il sistema energetico prevedeva grandi impianti di produzione in grado di colmare il fabbisogno di ciascun utente della rete. La diffusione di elementi innovativi come impianti di generazione distribuita, sistemi di accumulo, auto elettriche e colonnine di ricarica, ha mutato radicalmente questo scenario, introducendo migliaia di piccoli produttori che affiancano quelli storici rendendo necessario uno scambio facile e veloce di energia, anche a livello locale.

La complessità della rete è così aumentata e gli attuali sistemi di gestione devono essere adeguati per rispondere alle nuove esigenze di condivisione dell'energia e tracciabilità degli scambi energetici.

Quest'evoluzione richiede una soluzione tecnologica che renda efficiente e sostenibile la certificazione degli scambi, il loro tracciamento e la conseguente digitalizzazione dell'energia.

Il crescente aumento di impianti di generazione elettrica da Fonti Rinnovabili Non Programmabili (FRNP) ha aperto negli ultimi anni numerose sfide nei processi di Dispacciamento dell'energia elettrica. Al fine di favorire al massimo lo sfruttamento della generazione da fonti rinnovabili senza compromettere continuità e sicurezza del sistema elettrico si rende necessaria la realizzazione di una soluzione di gestione intelligente della rete elettrica, architettura che prevede l'interconnessione e lo scambio di informazioni in tempo reale tra gli elementi tipici e quelli innovativi presenti all'interno del sistema. Tale soluzione è comunemente chiamata Smart Grid.

Per realizzare le Smart Grid è necessario un sistema di gestione e comunicazione intelligente in grado di poter gestire in maniera ottimale e sicura situazioni in cui l'energia prodotta alla periferia della rete innesca un processo di inversione dei flussi energetici verso il centro della rete. Considerando che la generazione da fonti rinnovabili non può essere programmata preventivamente, si rende necessario gestire eventuali surplus redistribuendo l'energia in eccesso in aree attigue dove c'è effettivamente domanda, oppure conservandola in sistemi di accumulo; il tutto deve avvenire in modo dinamico ed in tempo reale, regolando contemporaneamente anche la generazione relativa alle centrali elettriche tradizionali allacciate alla rete di trasmissione nazionale (produzione centralizzata).

Lo scenario attuale ovvero quello di una moltitudine di nodi connessi alla rete che trasmettono e ricevono informazioni da sistemi centralizzati in futuro non sarà più sostenibile. L'aumentare degli impianti di generazione distribuita, di storage e della mobilità elettrica porterà un aumento considerevole degli investimenti nel miglioramento della rete di distribuzione e trasmissione.

Le tecnologie ICT permettono la costruzione di reti intelligenti, rendendo tutta la catena del valore più efficace e efficiente partendo dal monitoraggio e controllo della produzione, passando alle tecniche per il miglioramento della trasmissione e distribuzione fino ad arrivare ai contatori intelligenti. Alcune di queste tecnologie sono alla base della prossima fase di elettrificazione, che prevede il passaggio da un modello centralizzato ad un modello decentralizzato, con segnali di prezzo che variano in tempo reale, ed in grado di convogliare la domanda e l'offerta in ogni momento. Questo modello sarà realizzabile tramite l'impiego di Smart meters, impianti fotovoltaici e sistemi di storage.

L'utilizzo di queste tecnologie porterà ad avere una moltitudine di nodi che non solo sono in grado di ricevere e inviare informazioni, ma sono anche in grado di scambiare energia in modalità peer-to-peer. Lo scambio di energia sulla rete dovrà però essere realizzato in maniera certificata, rapida e sicura: l'utilizzo della Blockchain in questo settore apre un nuovo mercato che permette di salvaguardare la sicurezza della rete, decentralizzando il dispacciamento e accelerando l'adozione e gli investimenti in ottica Smart Grid.

#### 4.2.2 Definizione di Blockchain

La Blockchain è un **database distribuito** sul quale vengono archiviati transazioni e asset, in maniera pubblica e **immutabile**, su una rete di tipo **peer-to-peer**.

È importante evidenziare le parole chiavi nella definizione di Blockchain utilizzata:

- **Database distribuito:** Un database che potenzialmente non ha un unico proprietario, ma può essere scaricato da qualsiasi nodo che intende e ha il diritto di partecipare alla rete.
- **Immutabile:** La Blockchain è un sistema "append-only" al quale è possibile esclusivamente aggiungere dati, senza toglierli o modificarli, rendendo i dati al suo interno pubblicamente verificabili e retroattivamente immutabili.
- **Peer-to-Peer:** Una rete dove i nodi non hanno una gerarchia, ogni nodo partecipa alla rete in modo equivalente potendo fungere sia da client che da server per altri nodi della rete.

Altri concetti fondamentali per capire che cos'è la Blockchain sono:

- **Transazione:** Un messaggio tra due parti che possiedono un account sulla Blockchain e che viene trasmesso in rete e infine registrato in maniera definitiva su un blocco. Le transazioni vengono registrate all'interno della Blockchain come in un libro mastro. Ogni volta che viene fatta una transazione, questa viene registrata su tutti i nodi che partecipano alla rete; in questo modo, fintanto

che c'è almeno un nodo attivo la rete non può essere spenta. Ogni account su Blockchain è caratterizzato da una chiave pubblica e una privata: la chiave pubblica viene registrata all'interno delle informazioni relative ad una transazione, mentre la chiave privata serve al possessore di un account per effettuare le transazioni.

- **Blocchi:** Sono gli elementi da cui deriva il nome Blockchain (“catena di blocchi”); immaginando la Blockchain come un libro mastro, i blocchi sono le pagine: in ogni blocco vengono inserite un numero di transazioni annunciate dai nodi alla rete ma non ancora verificate. Quando il blocco viene accettato e quindi i nodi hanno verificato le transazioni contenute nello stesso, questo non può più essere modificato o rimosso.
- **Nodi:** I nodi possono essere full o light. I full-node sono quei nodi che partecipano in modo attivo alla rete, mantenendo una copia di tutto il database all'interno del proprio nodo (server/device); i light-clients sono invece quei nodi che pur non possedendo una copia del database e non partecipando attivamente alla rete, possono ugualmente ricevere e inviare messaggi/transazioni.

Il **Bitcoin**, la criptovaluta che ha reso famosa la Blockchain, è “solo” un’applicazione di questa tecnologia che permette di trasferire denaro attraverso una moneta digitale (criptovaluta) senza bisogno di un controllo da parte di un’ autorità intermedia. Tralasciando tematiche di speculazione, il Bitcoin ha dimostrato come la Blockchain potesse certificare e garantire lo scambio di denaro tra più persone con poche centinaia di righe di codice. Oltre a Bitcoin esistono altre Blockchain che permettono lo sviluppo di numerosi servizi in ambiti diversi da quello puramente finanziario/monetario. Ethereum, ad esempio, è una piattaforma decentralizzata basata su Blockchain, attraverso cui è possibile implementare Smart Contracts, applicazioni/contratti/algoritmi che possono essere programmati e implementati senza downtime, censura, frode o interferenza esterna. Uno smart contract, così come una qualunque transazione, una volta implementato su Blockchain è immutabile. Ethereum invece di fornire agli utenti un set di operazioni predefinite (come le sole transazioni monetarie per i Bitcoin), permette di creare logiche decentralizzate immutabili senza limitare quindi il numero di applicazioni possibili. Dagli Smart Contracts nascono quindi le DAPPs (applicazioni decentralizzate) che funzionano con la Blockchain.

Come è possibile vedere dalla figura, una DAPP non dipende da nessun datacenter, poiché le informazioni e le logiche di funzionamento sono distribuite tra i vari *client* connessi in rete. All'interno di Ethereum, ad esempio, la criptovaluta viene creata tramite un particolare contratto standard chiamato ERC20.

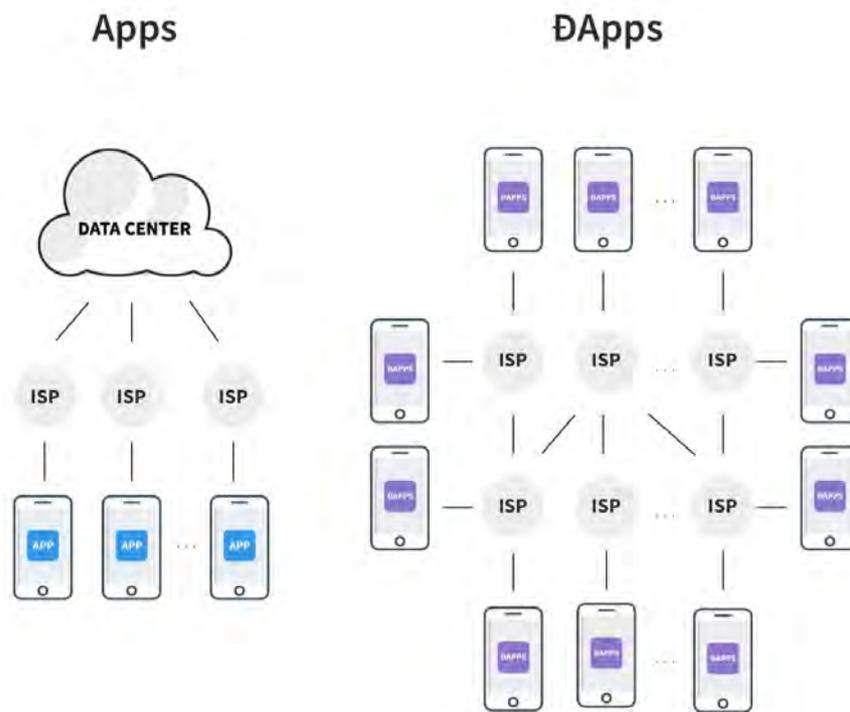


Figura 44. Architettura App Classiche e DAPPS

#### 4.2.3 Blockchain nel settore dell'energia

Come anticipato nei paragrafi precedenti, l'attuale sistema di produzione e distribuzione implica costi molto elevati in termini di dispersione di energia, manutenzione, interruzione del servizio (nel caso di sovraccarico della rete), inoltre in futuro il sistema energetico sarà caratterizzato da miliardi di endpoint che interagiscono tra loro, tra cui: Smart Meter, impianti di Produzione, impianti di Accumulo, auto Elettriche, colonnine di ricarica, elettrodomestici intelligenti.

La Blockchain permette la realizzazione di un sistema sicuro e in grado di verificare tutte le transazioni e gli accordi. Quest'evoluzione della rete elettrica permetterà a produttori e consumatori di interagire per poter determinare in anticipo le richieste di energia e convogliare il flusso energetico dove necessario facilitando l'incontro di domanda e offerta. Considerando la diversità dei processi e la molteplicità degli attori nel settore energetico, una tecnologia in grado di lavorare tramite diversi contratti basati su trasparenza e affidabilità porta enormi vantaggi nella realizzazione di una Smart Grid, dove i segnali di prezzo dati dai contratti e dallo stato della rete consentono l'automatizzazione di procedure e l'incentivazione di un utilizzo efficiente della rete.

I benefici che la Blockchain offre ai consumatori e ancora di più ai così detti "prosumer", sono quelli più dirompenti. Le possibilità di scambiare peer-to-peer energia tra utenti e di farlo ad un prezzo determinato da logiche scritte su contratti in Blockchain, porta ad un'innovazione totale del sistema. Già oggi esistono diversi progetti che hanno lo scopo di testare lo scambio di energia in microreti composte solamente da prosumer e consumer, in assenza di un controllo centrale. Emblematico è il caso della Microgrid creata a Brooklyn da LO3 Energy, progetto pilota in cui si è testato per la prima volta lo scambio di energia sulle reti Blockchain offrendo la possibilità di eseguire transazioni peer-to-peer, attraverso l'integrazione di Smart Meter, Sistemi di Accumulo e Fonti Rinnovabili. Alcuni studi hanno addirittura ipotizzato la possibilità di costruire in futuro una piattaforma Blockchain unica a livello europeo nella quale sia possibile scambiare energia tra pari.

Exhibit 27: The distributed Smart Grid enabled by blockchain could allow distributed power generators and consumer to interact with each other  
Smart grid illustration

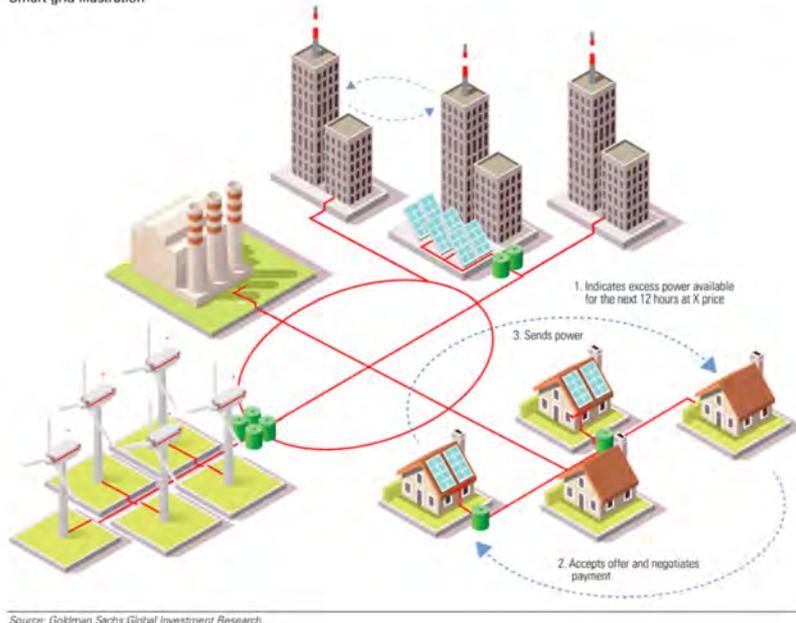


Figura 45. Architettura di una MicroGrid che lavora tramite scambi di energia P2P[28]

Nell’ottica della Smart Grid, Blockchain e Internet of Things abilitano una vera e propria digitalizzazione del settore energetico. Tramite Smart Contract è infatti possibile definire un *token* energia, che permette di remunerare gli scambi di energia che avvengono tra produttori e consumatori all’interno di una Smart Grid. Il token energia è valorizzato con un prezzo dinamico che tiene conto dello stato della rete, della disponibilità di energia e delle previsioni di produzione.

In uno scenario come questo, gli impianti di produzione invierebbero il quantitativo di kW prodotti nell’unità di tempo tramite i contatori di scambio “smart”, mentre smart contracts e Blockchain si occuperebbero di:

- certificare che quell’impianto ha prodotto quel quantitativo di energia;
- aggiornare le variabili ambiente relative ad energia disponibile e prezzo;
- trasferire X token all’impianto di produzione remunerando, il produttore per l’energia immessa in rete.

Il numero X di token trasferiti dipende dal cambio kW/token nel momento in cui quell’energia viene messa in rete.

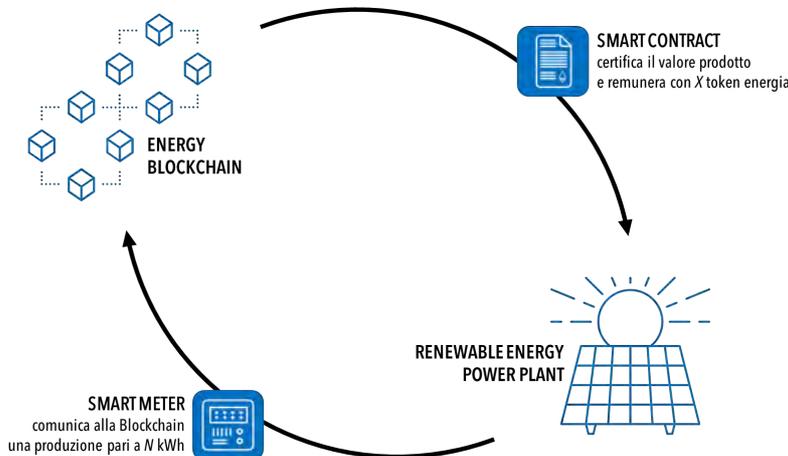


Figura 46. Scambio di energia tramite Blockchain

Analogamente, grazie al possesso di token un'unità di consumo sarà abilitata a consumare energia; in questo caso, i token saranno associati direttamente al contatore ("smart") e scambiati periodicamente con la Blockchain attraverso il contratto. Il numero di token dipende dal cambio kW/token nel momento in cui l'energia viene prelevata dalla rete/consumata.

L'associazione dell'energia ad un token digitale abilita nuovi mercati e nuovi modelli di business nel settore energetico come ad esempio:

- Contratti energia PAYG (pay-as-you-go): Il token energia risulta essere un credito prepagato che viene utilizzato dallo Smart Meter 2G, così come previsto dalla consultazione 468/2016/R/eel dell'ARERA.
- Incentivi per Demand Response(DR): Tramite i segnali di prezzo, è possibile incentivare gli utenti a partecipare alle iniziative di Demand Response. Oltre che con i segnali di prezzo, è possibile incentivare ulteriormente gli utenti che rispondono alla Demand Response tramite un numero definito di token bonus (in linea con gli sviluppi futuri della delibera 300/2017/R/eel).
- Ricarica Auto: Lo stesso token energia potrebbe essere utilizzato per pagare l'energia che viene utilizzata per ricaricare l'auto; l'andamento del prezzo token/kW incentiva a ricaricare le auto elettriche quando le condizioni di mercato sono più favorevoli.
- Vehicle to Grid (V2G): Le auto elettriche, oltre ad essere pratici mezzi di trasporto hanno una grossa capacità di accumulo; questa caratteristica in futuro potrà essere usata anche per bilanciare la rete elettrica, per esempio un token energia potrebbe essere scambiato come ricompensa per il servizio di bilanciamento fatto con la propria auto.

Nello scenario descritto acquistano un ruolo sempre più strategico i sistemi di accumulo. Questi permettono infatti di accumulare energia quando il cambio token/kW è favorevole e di rivenderla nel momento in cui il prezzo sale; allo stesso modo, il proprietario della batteria potrebbe essere incentivato ad offrire la propria batteria per il bilanciamento della rete, permettendo la massimizzazione dello sfruttamento dei sistemi di produzione non programmabili.

#### 4.2.4 Progettazione del Proof of Concept di Blockchain per la certificazione della flessibilità energetica

In Enea, in accordo alcuni stakeholders tra cui Areti SPA, Apio Srl è stato progettato un Proof of Concept basato su tecnologia Blockchain atto a regolare un sistema virtuale composto da una *local community*, ossia un gruppo di utenze sottese dalla stessa cabina MT/BT, che produce energia da fonte rinnovabile, la immagazzina, la utilizza il più possibile localmente e si impegna a contribuire al compito del gestore di rete di garantire il miglior servizio di erogazione dell'energia elettrica avendone in cambio premialità (o penalità in caso di non rispetto delle condizioni contrattuali concordate) riconosciute in "token" emessi dal gestore di rete e spendibili all'interno della community stessa.

L'obiettivo è quello di simulare uno **Smart Contract** intende ovvero una situazione in cui è stato sottoscritto un accordo tra le seguenti parti virtuali:

1. due **produttori flessibili** di energia elettrica da fonte rinnovabile in grado di modulare le proprie immissioni in rete attraverso l'esercizio combinato di un impianto fotovoltaico e di un sistema di storage;
2. un **produttore** di energia elettrica a cui viene valorizzata soltanto la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile;
3. un **consumatore flessibile** di energia elettrica che partecipano al mercato della flessibilità ed è quindi in grado di rispondere alle richieste del gestore di rete attraverso la modulazione del proprio carico.
4. **utenti generici**, che non partecipano al servizio di flessibilità erogato dal gestore di rete;
5. **gestore di rete**, responsabile della regolazione dei prezzi di produzione e dei costi di consumo dell'energia nonché di garantire i corretti livelli di tensione, frequenza,  $\cos\phi$ , SLA di erogazione del servizio elettrico a cui è delegato il compito verificare le condizioni sottoscritte ed erogare conseguentemente premialità e penalità da sommarsi algebricamente ai corrispettivi a lui dovuti per la fornitura di energia elettrica o da erogare ai produttori per remunerare l'energia da fonte rinnovabile ritirata;

6. un **operatore economico** appartenente alla local community che mette a disposizione degli altri membri, incluso il gestore di rete, beni o servizi a fronte dell'accettazione in cambio dei token generati dalle transazioni energetiche tra produttore, consumatore e gestore di rete, trasformando quindi comportamenti energetici virtuosi in elementi di valore economico fruibili all'interno della community stessa.

La certificazione degli scambi energetici nonché il riconoscimento nel Wallet delle parti dei token è delegato alla Blockchain: essendo lo Smart Contract chiamato in modo univoco a fare il suo compito, questo deve fornire determinate garanzie a chiunque lo sottoscriva. In particolare, lo Smart Contract deve garantire che il codice con cui è stato scritto non possa essere modificato, che le fonti dei dati che determinano le condizioni di applicazione siano certificate e affidabili, e che la modalità di lettura e controllo di queste fonti sia a sua volta certificata.

Uno Smart Contract implementato in una Blockchain permette di garantire tutte le condizioni descritte precedentemente.

Lo scopo dello Smart Contract è quindi quello di certificare scambi istantanei di energia tra le parti e di regolare economicamente premialità e penalità (erogate dal gestore di rete sulla base del positivo o negativo contributo dei prosumer all'esercizio ottimo della rete elettrica) rendendo attivo il cliente sia in termini di vendita e storage dell'energia, sia come flessibilità dell'utilizzo dell'energia nell'arco della giornata, sia come contributo alla stabilizzazione dei parametri di rete, al suo decongestionamento, alla formazione organica ed ottimizzata del prezzo zonale.

Al contempo, i token acquisiti dai componenti della local community partecipanti al mercato della flessibilità elettrica potranno essere scambiati con beni e servizi all'interno della community stessa e lo Smart Contract regolerà anche il passaggio di token tra i diversi soggetti della local community.

#### 4.2.5 Architettura dello Smart Contract

Il *Token* rappresenta il *gettone* che permette di valorizzare economicamente premialità, penalità, energia prodotta o consumata, di seguito denominato semplicemente "token" ed il cui **valore nominale** potrà essere posto pari ad **1 kWh**, rendendo attivo il prosumer in termini di:

- a) **Immissione in rete dell'energia.** Il produttore flessibile, sfruttando sia la produzione istantanea da fotovoltaico che lo storage, dovrà immettere determinati quantitativi di energia secondo un profilo giornaliero definito e ulteriori parametri da definire.
- b) **Flessibilità nell'utilizzo dell'energia nell'arco della giornata.** Il consumatore flessibile, che paga al gestore di rete un token per ogni kWh consumato, si vedrà addebitato un numero di token sul suo borsellino elettronico inferiore al numero effettivo di kWh consumati tanto più rispetterà le indicazioni del gestore sui quantitativi di energia da utilizzare in determinati periodi e ulteriori parametri da definire in seguito. Di contro si vedrà addebitati più token dei kWh consumati tanto più il suo comportamento sarà lontano da quello concordato;
- c) I produttori (ed i consumatori) non flessibili vedranno **ridotto (aumentato) quanto ricavato (pagato) dalla vendita (consumo) di energia elettrica dalle penalità** applicate in token agli effettivi kWh scambiati nel caso di non rispetto dei parametri di qualità dell'energia prodotta (utilizzata);
- d) **Possibilità di utilizzo dei token all'interno della local community** acquistando beni e servizi dall'operatore economico locale.

All'interno dello *Smart Contract* si potranno prevedere due funzioni per la scrittura certificata degli indici di rete su *Blockchain* per registrare il prelievo dalla rete (consumo) e per registrare l'immissione in rete (produzione);

L'indice di prezzo può invece essere calcolato direttamente dallo Smart Contract in base allo stato della rete, all'energia disponibile e all'energia che si sta consumando. In una evoluzione futura del sistema, l'indice potrà essere guidato dalle indicazioni di prezzo provenienti dai mercati nazionali preposti.

#### 4.2.6 Progettazione del dimostrativo pilota

Il progetto prevede di realizzare detto sistema all'interno del centro Enea della Casaccia nel quale è già funzionante un prototipo di rete (il cui schema è riportato di seguito) in grado di simulare detta situazione ed i cui ruoli nel modello di simulazione di una rete distributiva saranno:

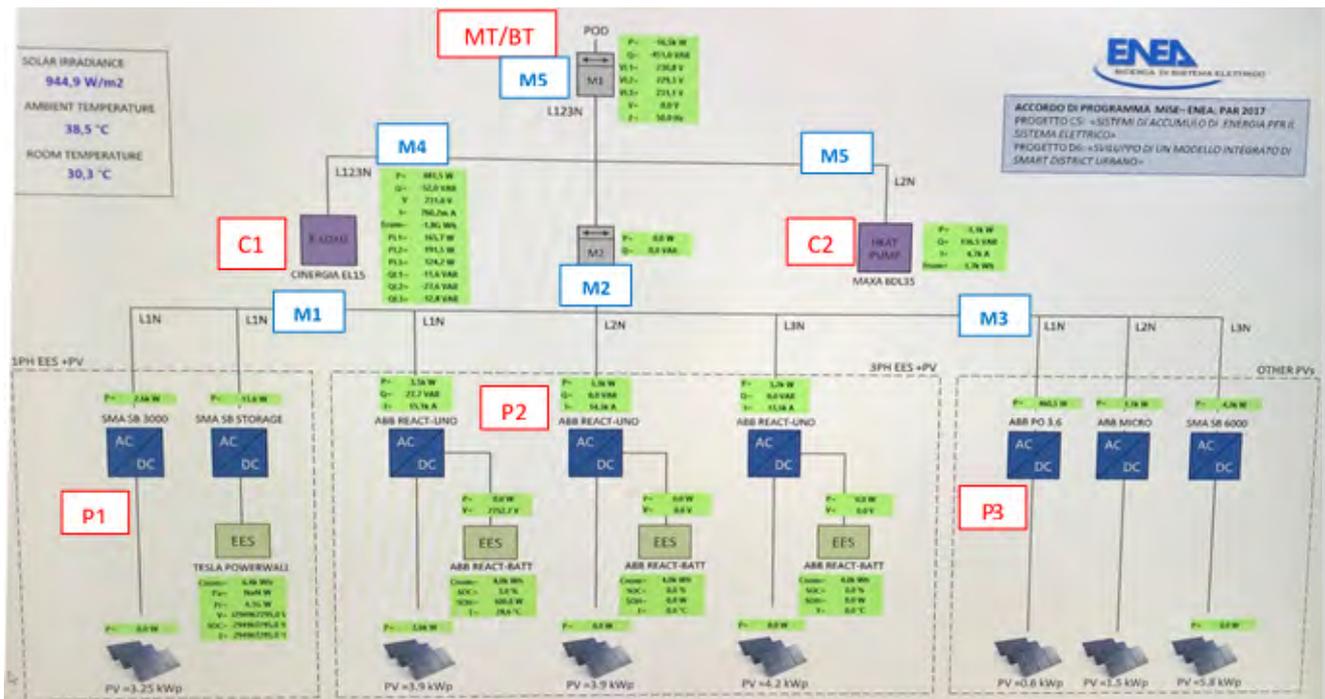


Figura 47. Schema del prototipo di rete

- un produttore di energia fotovoltaica dotato di storage, il produttore P1 si configura in rete come un "produttore flessibile monofase", in grado quindi di modulare nel tempo la sua immissione di energia nella rete stessa;
- un produttore di energia fotovoltaica su tre linee ognuna di circa 4 kWp dotate di altrettante batterie da circa 4 kWh di capacità e dotate di singoli inverter con uscita a 230 V e potenza massima complessiva di 15 kW, di seguito indicato come P2 ed attrezzato con un misuratore trifase M2 (con dati ricostruiti sulla base di misure sulle singole fasi). Grazie alla dotazione di storage, il produttore P2 si configura in rete come un "produttore flessibile trifase", in grado quindi di modulare nel tempo la sua immissione di energia nella rete stessa;
- un produttore di energia fotovoltaica su tre linee rispettivamente di 0,6, 1,5 e 5,8 kWp ognuna dotate di singolo inverter dedicato con uscita a 230 V, di seguito indicato come P3 ed attrezzato con un misuratore trifase M3 (con dati ricostruiti sulla base di misure sulle singole fasi). Non essendo dotato di storage, il produttore P3 si configura in rete come un puro produttore da rinnovabili a ritiro dedicato;
- un consumatore C1 consistente in un simulatore di carico elettronico trifase da 15 kVA capace di modulare sia carico attivo che reattivo per singola fase ed attrezzato con un misuratore trifase M4 (con dati ricostruiti sulla base di misure sulle singole fasi). Grazie alla sua capacità di modulazione, il consumatore C1 si configura in rete come un "sottoscrittore di contratto di flessibilità" e come tale partecipante al mercato del dispacciamento;

- e) un consumatore C2 consistente in una pompa di calore a servizio della sala controllo della virtual grid qui descritta ed attrezzato con un misuratore monofase M5. Data la caratteristica di non modulabilità del carico, il consumatore C2 si configura in rete come un puro consumatore con semplice contratto di somministrazione di energia elettrica.
- f) a monte del tutto un punto di misura trifase M5 che simula il nodo (cabina MT/BT) del gestore di rete, punto nel quale viene rilevato l'indice generale di rete (alla cui qualità concorrono i componenti della local community) e su cui si esegue il bilancio energetico delle transazioni sulla virtual grid.

Sulla sopra descritta virtual grid di Enea verranno installati dei nodi Blockchain, uno per misuratore, in grado di interfacciarsi con il web-service Enea che colletta tutte le grandezze elettriche rilevate dai misuratori con periodicità da definire certificandole nella catena Blockchain privata (ad esempio basata su tecnologia Ethereum). I dati di misura e le transazioni registrate sulla Blockchain saranno quindi inoltrati ad un server remoto su cui sono implementati i borsellini elettronici dei diversi attori della virtual grid e gli applicativi di data mining, di front-end e di gamification per una rappresentazione adeguata ed esaustiva dell'andamento dei comportamenti di rete e delle posizioni economiche (con indicazione di premialità e penalità) degli utenti di rete.

## Allegato 1-Casi d'uso 8 da Aggregatore a Piattaforma Urbana

### 8.1.1 Caso d'Uso " Consumo/Produzione elettrica aggregata giornaliera "

#### Descrizione

ID	Nome Caso d'Uso
D7b.8.1.1	<b>Consumo/Produzione elettrica aggregata giornaliera</b>
<b>Obiettivo (max 3 righe)</b>	
L'obiettivo è quello di inviare alla piattaforma urbana il consumo/produzione aggregata delle abitazioni appartenenti all'area monitorata dall'aggregatore, o aggregatori, operanti nel distretto.	
<b>Descrizione (max 10 righe)</b>	
Il monitoraggio del consumo/produzione elettrica totale giornaliera delle abitazioni del distretto (espresso in KWh) sarà fornito dalla somma dei consumi generali/produzioni delle abitazioni degli edifici rilevati dagli Smart Meter o dai Metering Device (rif caso d'uso D7b.1.1 [8] ), in grado di comunicare con il gateway locale che provvederà all'invio all'aggregatore. L'aggregatore una volta raccolto il dato di consumo/produzione totale elettrico per tutte le abitazioni calcolerà la somma di tali consumi/produzioni e si occuperà del suo invio giornaliero e mensile tramite formato Json alla piattaforma urbana.	

Attore	Descrizione	VINCOLI	LOCAZIONE
Smart Meter elettrico	Sistema di misura del consumo/produzione elettrica complessiva dell'abitazione gestito o fornito dal DSO.		Sistema di telelettura del contatore elettrico dell'abitazione
Metering Device	Sistema per il monitoraggio indiretto del consumo/produzione elettrica complessiva dell'abitazione.		Connesso al contatore elettrico dell'abitazione
Energy Box	Gateway per la comunicazione verso l'esterno con l'Aggregatore; funge da centralina per la raccolta dei dati provenienti dalla rete di sensori e l'attuazione dei comandi.	Integrato con un controller (USB/Stick), alimentato elettricamente	In abitazione
Aggregatore	Piattaforma che aggrega i dati raccolti provenienti dalle singole abitazioni, fornendo servizi aggiuntivi e invia KPI selezionati alla piattaforma urbana.		In Cloud
Piattaforma urbana	Piattaforma che aggrega e riceve dati dai singoli moduli verticali quali in questo caso la Smart Homes Networks.		

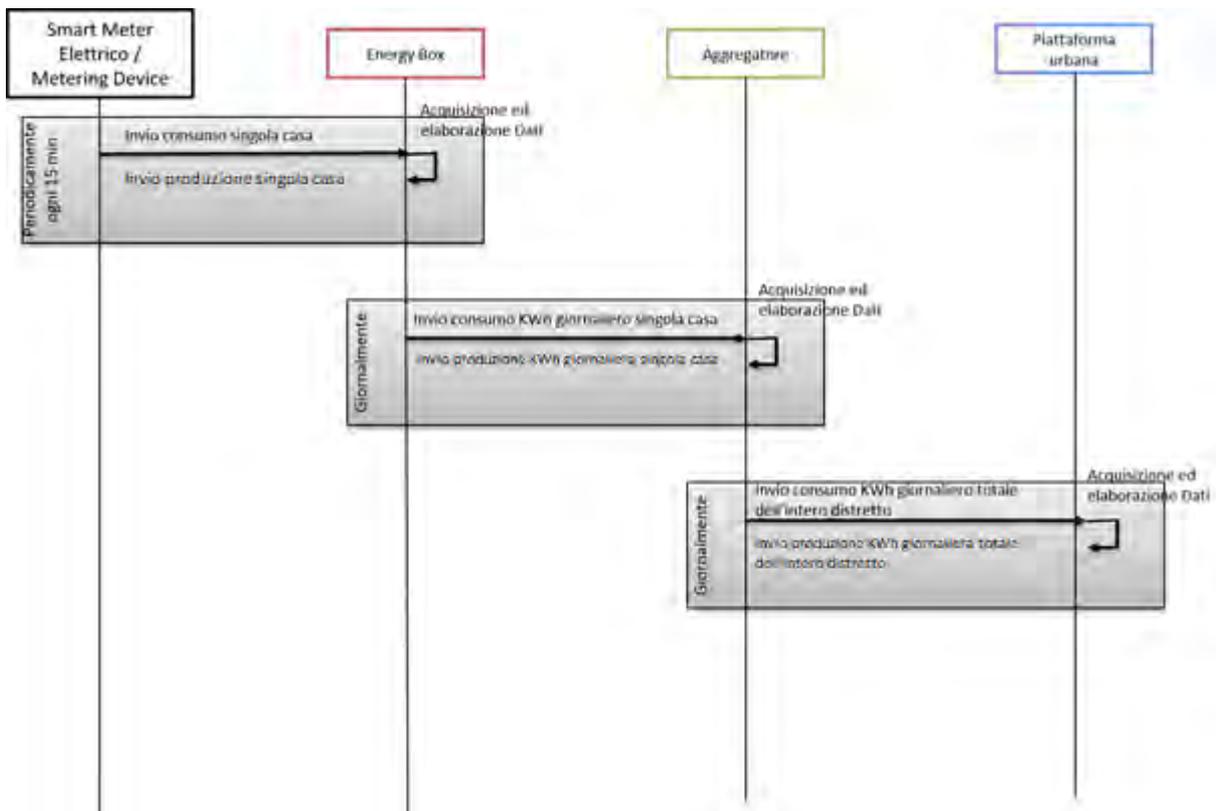
Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione	SENSIBILITA' DEL DATO
Dati consumo smart meter	Abitante/ DSO	Abitante	EB	Aggregatore, Distributore, Venditore	Smart District Platform	Dati sensibili, ceduti a discrezionalità dell'utente/DSO.

#### Attività

N	Quando si svolge l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore info	Ricevitore info	Info scambiata	VINCOLI Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA);
1	Periodicamente (15 minuti)	Acquisizione e dati da	Lo Smart meter/metering device della singola abitazione invia i dati	Smart Meter	EB	Misura del	FD: double PA: Z-Wave

		Smart Meter	al proprio Energy Box per caratterizzare il profilo di consumo/produzione energetico tipico dell'abitazione			consumo elettrico in W o kWh	
2	Periodicamente (ogni giorno)	Invio consumo/produzione giornaliera singola abitazione ad aggregatore	Ogni Energy Box calcola giornalmente l'energia consumata/prodotta in kWh in un giorno e la invia all'aggregatore	Energy Box	Aggregatore	Misura del consumo elettrico giornaliero in kWh di ciascuna abitazione	FD: double PA:
3	Periodicamente (ogni giorno)	Invio consumo/produzione giornaliera totale del distretto a piattaforma urbana	L'aggregatore calcola giornalmente l'energia consumata in kWh in un giorno dal distretto e la invia alla piattaforma urbana.	Aggregatore	Piattaforma urbana	Misura del consumo elettrico giornaliero totale in kWh del distretto	FD: double PA: Json

Diagramma UML



## 8.1.2 Caso d'Uso "Dati aggregati di caratterizzazione delle abitazioni appartenenti agli edifici monitorati"

### Descrizione

ID	Nome Caso d'Uso
D7b.8.1.2	<b>Dati aggregati di caratterizzazione delle abitazioni appartenenti agli edifici monitorati</b>
Obiettivo (max 3 righe)	
L'obiettivo è quello di inviare alla piattaforma urbana i dati aggregati di caratterizzazione delle abitazioni appartenenti alla rete di edifici monitorati dall'aggregatore, o aggregatori, operanti nel distretto.	
Descrizione (max 10 righe)	
I dati di caratterizzazione delle abitazioni appartenenti alle reti di edifici monitorati, quali mq e numero abitanti totali delle abitazioni, saranno inseriti dai singoli utenti sull'interfaccia aggregatore e saranno da esso elaborati per ricavare la somma complessiva di tali dati relativi alla totalità delle abitazioni nell'area monitorata. L'aggregatore si occuperà del loro invio giornaliero e mensile tramite formato Json alla piattaforma urbana insieme al dato di produzione e consumo elettrico.	

Attore	Descrizione	VINCOLI	LOCAZIONE
Utente	L'utente è in grado di interagire con l'interfaccia dell'aggregatore inserendo dati di caratterizzazione della propria abitazione (mq, numero abitanti)	L'utente deve poter interagire con l'interfaccia aggregatore	
Aggregatore	Piattaforma che aggrega i dati raccolti provenienti dalle singole abitazioni, fornendo servizi aggiuntivi e invia KPI selezionati alla piattaforma urbana.		In Cloud
Piattaforma urbana	Piattaforma che aggrega e riceve dati dai singoli moduli verticali quali in questo caso la Smart Homes Networks.		

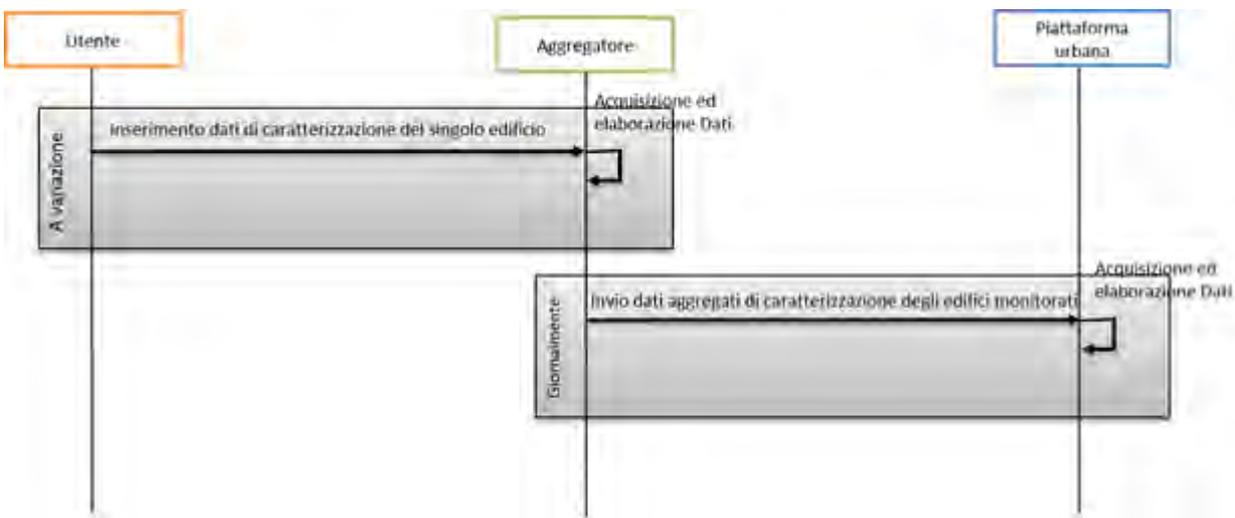
Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione	SENSIBILITA' DEL DATO
Dati di caratterizzazione edifici	Abitante	Abitante	Aggregatore	Aggregatore, Distributore, Venditore	Smart District Platform	Dati sensibili, ceduti a discrezionalità dell'utente.

### Attività

N	Quando si svolge l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore info	Ricevitore info	Info scambiata	VINCOLI Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA);
1	A variazione	Inserimento dati di caratterizzazione dei singoli edifici sull'interfaccia aggregatore	I dati di caratterizzazione delle reti di edifici monitorati, quali mq e numero abitanti degli edifici, saranno inseriti dai singoli utenti sull'interfaccia aggregatore ad ogni variazione.	Utente	Aggregatore	Dati di caratterizzazione edifici monitorati (mq, numero abitanti)	FD: double PA: casella di testo

2	Periodicamente (ogni giorno)	Invio dati aggregati di caratterizzazione degli edifici monitorati a piattaforma urbana	I dati di caratterizzazione delle reti di edifici monitorati, quali mq e numero abitanti degli edifici, vengono aggregati ed inviati giornalmente e mensile tramite formato Json alla piattaforma urbana..	Aggregatore	Piattaforma urbana	Dati aggregati di caratterizzazione edifici monitorati (mq, numero abitanti)	FD: double PA: json
---	------------------------------	---	--	-------------	--------------------	--	------------------------

Diagramma UML



## 5 Conclusioni

La sintesi dell'analisi svolta con questo lavoro dimostra che serve non solo utilizzare la tecnologia di autoproduzione locale di energia ottimale ma è indispensabile utilizzare sia elettronica a basso consumo sia studiare protocolli di comunicazione e trasferimento atti a ridurre la ridondanza dei trasferimenti e a ottimizzare la comunicazione. Quindi una "sorta" di efficientamento di sistema contribuisce in modo determinante al raggiungimento dell'indipendenza dell'approvvigionamento energetico. Infatti si è studiato lo stato dell'arte dell'energy harvesting applicabile ai sensori per domotica ed in particolare per i sensori acustici. Si sono dapprima valutate le necessità energetiche ipotizzando uno scenario di utilizzo di tali sensori e quindi considerando le capacità di "racimolare" energia in vario modo, si sono ipotizzati gli specifici utilizzi delle varie tecniche di energy harvesting.

Per aumentare l'usabilità dei sistemi presenti all'interno di una Smart Home, anche per gli utenti con fragilità, sono state studiate interfacce innovative, tipo robot umanoidi. Il risultato dell'utilizzo del robot umanoide NAO è stato di un aumento considerevole della percentuale di parole correttamente riconosciute e quindi, più in generale, dell'efficacia dell'interazione uomo-macchina in grado di offrire all'utente diverse modalità di interazione per riceverne ad esempio i comandi o per fornire informazioni varie, adattandosi alle abilità, anche di tipo residuale, della persona debole. Quindi utilizzando i servizi messi a disposizione dai cloud di Intelligenza Artificiale disponibili online si sono ridotte alcune limitazioni funzionali che i robot avevano e che li limitavano sia la qualità che l'efficacia dell'interazione con l'utente a causa della ridotta dotazione sia sensoriale che computazionale dislocata a bordo.

La sperimentazione condotta presso la rete di Smart Homes, ha dimostrato il funzionamento della soluzione tecnologica sviluppata a livello di abitazione, l'**Energy Box**, sia pure con alcuni margini di miglioramento come evidenziato nel presente report. Inoltre ha consentito di sviluppare una **Piattaforma di Aggregazione** (<https://www.smarthome.enea.it/>) in grado di elaborare i dati provenienti dalle singole abitazioni, aggregarli e fornire feedback agli utenti tramite web-app o direttamente tramite report per indurre il cliente finale ad un uso più consapevole dell'energia. In effetti, tra i partecipanti alla sperimentazione, si sono riscontrati risparmi medi di circa l'8% sulle bollette elettriche. Tali risultati possono essere superiori se si punta su automazione e controlli più avanzati come dimostrato dalle simulazioni effettuate dal Politecnico di Torino. I risultati hanno dimostrato che logiche di gestione ottimizzate possono comportare sensibili risparmi di energia per il riscaldamento e il raffrescamento garantendo nel contempo una buona qualità dell'ambiente interno in termini di temperatura, concentrazione di inquinanti e illuminamento.

I dati provenienti dalla sperimentazione sono stati inoltre impiegati per lo sviluppo di modelli e di strumenti, basati sul machine learning per la disaggregazione dei dati di consumo elettrico domestico residenziale generale nelle componenti attribuibili ai singoli elettrodomestici, che hanno fornito risultati soddisfacenti e incoraggianti grazie all'ottima aderenza tra il profilo dei consumi reale e quella predetto.

Lo studio effettuato sul modello di business dell'Aggregatore proposto ne ha evidenziato la replicabilità pur sottolineando la necessità di creare valore aggiunto per l'utente finale mediante l'innovazione tecnologica legata ad una possibile gamma di servizi aggiuntivi soprattutto in quelle aree di mercato elettrico ove la scalabilità della domanda risulti complessa o non risolutiva come nel Sud. Pertanto risulta strategica l'integrazione, nell'offerta dell'Aggregatore di servizi aggiuntivi, anche non direttamente correlati con il mercato elettrico ma comunque veicolabili verso l'utenza finale mediante sistemi hardware come l'Energy Box.

C'è comunque da evidenziare che negli scenari ad alta pervasività tecnologica (5G, smart device, Blockchain), in cui gli utenti finali possono disporre di tool più potenti ed accessibili, emerge il rischio che venga cristallizzato o reso inefficace lo sviluppo della figura dell'Aggregatore, restringendo il suo campo d'azione alla mera piattaforma di incontro tra domanda ed offerta, con conseguenti modelli di reddito più ridotti. L'utente finale, dal canto suo, troverebbe nell'Aggregatore nel breve periodo un soggetto abilitante capace

di permettergli non solo di essere parte attiva del nuovo paradigma di mercato elettrico ma anche di ottimizzare la propria posizione nello stesso accedendo ad esempio a nuove forme di relazioni commerciali. In questo contesto la tecnologia Blockchain risulta particolarmente interessante in quanto punta a sviluppare meccanismi certificati per lo scambio di energia tramite l'attivazione di opportuni "smart contract", in grado di facilitare la partecipazione attiva degli utenti finali, regolare eventuali premialità e penalità, fornire nuovi servizi, contribuendo al tempo stesso alla stabilità e flessibilità della rete.

In Enea, con la collaborazione di alcuni stakeholders, è stato progettato un "Proof of Concept" da realizzare presso il Centro Casaccia dove è in funzione un prototipo di rete locale composta da un impianto fotovoltaico per la produzione di energia, sistema di accumulo e software innovativo per la gestione smart dei flussi energetici. Si ritiene che in futuro la tecnologia *blockchain* sarà in grado di facilitare lo scambio di servizi di differente natura, non solo energetici ma anche sociali, in modo da contribuire allo sviluppo di modelli innovativi e replicabili di business facilitando la nascita e l'espansione di economie locali.

A tal fine sono stati testati con successo i protocolli di comunicazione tra il controllore e i sistemi di accumulo dedicati al prototipo di impianto, progettato per lo Smart Building della Casaccia, su cui potranno essere verificate in campo le logiche AutoDR.

## 6 Riferimenti bibliografici

- [1] ENEA, DTE-SEN-SCC – Report RdS/PAR2017/043-“Implementazione di applicazioni dedicate per Smart Home e Assisted Living”, autori: F. Romanello, S. Pizzuti, S. Romano, C. Snels, L. Luccarini, A. Zanela, R. Chiarini, P. Clerici Maestosi
- [2] Università di Roma Tre, Dipartimento di Ingegneria - Report RdS/ PAR2017/044 – “Integrazione di sensori acustici in sistemi smart home ed implementazione di algoritmi per l’individuazione e la localizzazione di segnali acustici”, autori: A. Laudani, G. M. Lozito, F. Riganti Fulginei, A. Salvini.
- [3] Università degli studi “Tor Vergata”, Dipartimento di Ingegneria Industriale – Report RdS/PAR2017/046 – “Interfacce innovative in grado di aumentare la usabilità dei sistemi smart home ed agevolarne l'uso agli utenti fragili”, autore Vincenzo Bonaiuto.
- [4] ENEA, DTE-SEN-SCC- Report RdS/PAR2017/047– “Smart Home Network: realizzazione di un dimostrativo pilota e implementazione dei servizi di aggregazione”, autori: S. Romano, S. Pizzuti, S. Fumagalli.
- [5] Università degli studi di Roma "Tor Vergata", Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica - Report RdS/PAR2017/048 – “Deep Learning per la disaggregazione di consumi elettrici di edifici residenziali; autori: C. La Riccia, C. Liti, V. Piccialli, A. Pomente.
- [6] Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche – Report RdS/PAR2017/049 – “Simulazione del servizio di demand response di un distretto urbano: sviluppo di algoritmi per la definizione del profilo day-ahead e ranking di affidabilità di utenti residenziali”, autori: G. Comodi, A. Bartolini, F. Carducci, L. Ciabattoni, M. Botticelli, F. Ferracuti, A. Monteriù.
- [7] Politecnico di Torino, Dipartimento Energia – Report RdS/ PAR2017/050 - "Strategie di gestione e diagnostica della richiesta di energia per il condizionamento ambientale e della qualità termigrometrica di edifici pilota", A. Capozzoli, S. P. Corgnati, F. Fabbro, D. M. Mazzarelli, G. Vergerio, S. Viazzo.
- [8] ENEA, DTE-SEN-SCC – Report RdS/PAR2015/015 – “Sviluppo delle metodologie e implementazione preliminare di un modello di Smart Homes Network ”, autori G. D’Agosta, C. Novelli, F. Pieroni, S. Pizzuti, F. Romanello, S. Romano, A. Zanela.
- [9] Innosensor Srl – Report RdS/PAR2017/ 101 – “Ingegnerizzazione del Sistema Sensoriale Sesto Senso” autore: Alberto Nisti.
- [10] NE NOMISMA ENERGIA Srl- Report RdS/PAR2017/102– “Studio sui modelli di business di un Aggregatore di distretto” autori: M. Mazzoni, G. Marino, N. Musu
- [11] Blockchain e il totale ripensamento del mercato energetico”, Andrea Peano, Quotidiano Energia NExt 2017
- [12] “Blockchain and energy transition” David Donnerer & Sylvie Lacassagne
- [13] “Blockchain in the Electricity Market: Identification and Analysis of Business Models”, Alisa Orlov, Master Thesis in MSc in Economics and Business Administration, Norwegian School of Economics & HEC Paris
- [14] Energy Strategy, Politecnico di Milano, “Digital Energy Report – Il potenziale dell’energia 2.0”, Novembre 2017
- [15] Energy Strategy, Politecnico di Milano, “Electricity Market Report – Quale ruolo per lo storage e le forme di aggregazione virtuale in Italia?”, Ottobre 2018.
- [16] Alisa Orlov, NHH, HEC Paris, Master Thesis “Blockchain in the Electricity Market: Identification and Analysis of Business Models”
- [17] “Partecipazione della domanda flessibile al mercato del servizio di dispacciamento”, RSE e Politecnico di Milano, in collaborazione con Energy@home, Febbraio 2018
- [18] “Regolamento recante le modalità per la creazione, qualificazione e gestione di unità virtuali abilitate miste (UVAM) al mercato dei servizi di dispacciamento”, Terna
- [19] “Smart metering di seconda generazione, Le novità della regolazione”, Incontro con le associazioni dei consumatori, ARERA, 11 gennaio 2017.

- [20] <https://www.ilpost.it/2019/01/05/5g-italia/>
- [21] “Storia ed evoluzione degli Smart Contract”, Ethereum Italia, 15 Marzo 2017, <http://www.ethereum-italia.it/?p=322>
- [22] “Geschäftsmodelle innovieren”, Hanser.Gassmann, O., Frankenberger, K., Csik, M. (2013).
- [23] “The EU Winter Package. Briefing Paper”, Prof. L. Hancher and Mr. B.M. Winters, Allen & Overy, Febbraio 2017
- [24] <http://fsr.eui.eu/wp-content/uploads/The-EU-Winter-Package.pdf>
- [25] “Clean energy for all europeans” package. Sintesi dei contenuti, Assorinnovabili; [http://www.assorinnovabili.it/public/sitoaper/FontiRinnovabili/paper/2017/Sintesi\\_aR\\_winter\\_package\\_def.pdf](http://www.assorinnovabili.it/public/sitoaper/FontiRinnovabili/paper/2017/Sintesi_aR_winter_package_def.pdf)
- [26] Sito internet Terna; [www.terna.it](http://www.terna.it).
- [27] Sito internet ARERA <https://www.arera.it/it/operatori/smartmetering.htm>
- [28] Goldman-Blockchain-beyond-the-hype-practical-uses-2016-5. <https://www.businessinsider.com/goldman-blockchain-beyond-the-hype-practical-uses-2016-5?IR=T#sharing-economy-building-trust-on-platforms-like-airbnb-1>
- [29] Reuven Sussman and Maxine Chikumbo- “Behavior Change Programs: Status and Impact “October 2016, Report B1601. American Council for an Energy-Efficient Economy
- [30] Paolo Bertoldi, Tiago Serrenho, Paolo Zangheri, “Consumer Feedback Systems: How Much Energy Saving Will They Deliver and for How Long? “-European Commission Joint Research Centre

## 7 Abbreviazioni ed acronimi

NILM: Nonintrusive Load Monitoring

MAE: mean absolute error

MSE: mean square error

MR: match rate

EB: Energy Box

POD: Point of Delivery

SHN: Smart Homes Network

KPI: Key Performance Indicator

DR: Demand Response