



## Ricerca di Sistema elettrico

Analisi e progettazione di nuove architetture impiantistiche in edifici di tipo residenziale e integrazione di impianti a fonte rinnovabile e sistemi di building automation con implementazione di modelli e logiche gestionali avanzate

L. Martirano, E. Habib, M. Manganelli, G. Greco

ANALISI E PROGETTAZIONE DI NUOVE ARCHITETTURE IMPIANTISTICHE IN EDIFICI DI TIPO RESIDENZIALE E  
INTEGRAZIONE DI IMPIANTI A FONTE RINNOVABILE E SISTEMI DI BUILDING AUTOMATION CON  
IMPLEMENTAZIONE DI MODELLI E LOGICHE GESTIONALI AVANZATE

L. Martirano, E. Habib, M. Manganelli, G. Greco

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

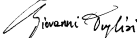
Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

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

Progetto: Tecnologie per costruire gli edifici del futuro

Obiettivo: Soluzioni innovative per l'efficientamento degli edifici

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA 

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Analisi e progettazione di nuove architetture impiantistiche in edifici di tipo residenziale e integrazione di impianti a fonte rinnovabile e sistemi di building automation con implementazione di modelli e logiche gestionali avanzate"

Responsabile scientifico ENEA: Alessandro Pannicelli

Responsabile scientifico DIAEE Unniversità Sapienza di Roma : Luigi Martirano



Parte delle conclusioni della presente ricerca sono state sintetizzate nell'articolo: "Smart Micro Grids for Nearly Zero Energy Buildings", Luigi Martirano, Emanuele Habib, Giuseppe Parise, Giacomo Greco, Matteo Manganelli, Ferdinando Massarella, Luigi Parise, IEEE IAS Annual Meeting, Portland 1-7 October 2016.

Si ringrazia l'ing. Ferdinando Massarella per la preziosa collaborazione nella ricerca e per aver messo a disposizione gli elaborati tecnici del progetto degli impianti tecnici dell'edificio oggetto delle simulazioni.

Si ringrazia l'Immobiliare Le Torri" per aver messo a disposizione della ricerca il Complesso Edilizio "Elena" di Campobasso in corso di costruzione.

## Indice

SOMMARIO.....	6
1 INTRODUZIONE.....	8
2 EDIFICI A ENERGIA QUASI ZERO.....	10
2.1 GENERALITÀ.....	10
2.2 MISURE PASSIVE.....	11
2.2.1 <i>Involucro edilizio</i> .....	12
2.3 PRESTAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO.....	13
2.4 SERVIZI TECNICI DI EDIFICIO ED IMPIANTI TECNICI DI EDIFICIO (TBS).....	14
2.4.1 <i>Pompe di calore</i> .....	16
2.4.2 <i>Sistemi di riscaldamento a pannelli radianti a pavimento</i> .....	22
2.4.3 <i>Sistemi di regolazione</i> .....	26
2.4.4 <i>Ventilazione. Estrattori con recupero di calore</i> .....	29
2.5 SISTEMI DI BUILDING AUTOMATION (BACS, HBES) E MANAGEMENT (TBM, BEMS).....	30
2.5.1 <i>Sistemi HBA</i> .....	30
2.5.2 <i>Sistemi HBES e BACS</i> .....	31
2.5.3 <i>TBM e BEMS</i> .....	32
2.5.4 <i>Sistemi Konnex (KNX)</i> .....	32
2.5.5 <i>Supervisore Locale (SuViLo)</i> .....	33
2.5.6 <i>Sistemi di supervisione centralizzati</i> .....	33
2.6 SISTEMI DI METERING DISTRIBUITI.....	34
2.7 SISTEMI DI ACCUMULO ELETTRICO DISTRIBUITO - DOMESTIC DISTRIBUTED ENERGY STORAGE (DDES).....	39
2.8 SPERIMENTAZIONI.....	43
2.9 QUADRO NORMATIVO.....	44
2.10 DANZEB A KZEB.....	45
2.10.1 <i>Edificio gas-free</i> .....	45
2.10.2 <i>Generazione locale</i> .....	46
2.11 DA NZEB A "ZERO EMISSION BUILDING" (ZEB).....	46
3 ARCHITETTURE D'IMPIANTO.....	47
3.1 GENERALITÀ: SMDU E MURB.....	47
3.2 INDICAZIONI UTILI PER IL PREDIMENSIONAMENTO DI MASSIMA.....	48
3.3 ARCHITETTURE DI RETI TRADIZIONALI PER EDIFICI MULTI UNITÀ.....	50
3.4 FOTOVOLTAICO.....	51
3.5 IMPIANTO DI RISCALDAMENTO A POMPA DI CALORE E PANNELLI RADIANTI.....	53
3.6 SCHEMA DI ARCHITETTURA "TUTTO ELETTRICO" PROPOSTO PER GLI EDIFICI NZEB DI TIPO MURBSATELLITE CENTER.....	56
3.7 ARCHITETTURA DI RETE DELLA BUILDING AUTOMATION E DOMOTICA (HBES/BACS).....	57
3.8 SMART METERING.....	60
3.8.1 <i>Metering elettrico</i> .....	60
3.8.2 <i>Metering acqua calda, calore e acqua potabile</i> .....	61
3.8.3 <i>Metering parametri ambientali</i> .....	61
3.8.4 <i>Trasparenza dei consumi e dei costi</i> .....	61
3.9 ARCHITETTURA DI SMART MICRO GRID PER GLI NZEB.....	62
4 INTERVENTI DI DEMAND SIDE MANAGEMENT.....	70
4.1 GENERALITÀ.....	70
4.2 OBIETTIVI DEL DSM.....	72
4.3 CONTROLLO DEL CARICO ELETTRICO NELL'ARCHITETTURA DI RETE PROPOSTA.....	74
4.4 INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEI CONTROLLI PROPOSTI.....	74

4.5	IMPIANTO TERMICO .....	75
4.5.1	Accumulo termico centralizzato – Controllo T1 .....	76
4.5.2	Accumuli termici distribuiti. Controllo T2.....	77
4.5.3	Preriscaldamento. Controllo T3.....	78
4.6	ELETTRODOMESTICI. CONTROLLO SA. ....	78
4.6.1	App per il controllo SA.....	81
5	MODELLO SIMULATORE DI EDIFICIO “BUILDING SIMULATOR” .....	83
5.1	MODELLO ELETTRICO DELL’EDIFICIO .....	83
5.1.1	Carico elettrico dell’unità abitativa.....	83
5.1.2	Carico elettrico dell’edificio.....	90
5.2	MODELLO TERMICO DELL’EDIFICIO .....	101
5.2.1	Carico termico dell’unità abitativa.....	101
5.2.2	Temperatura esterna .....	102
5.2.3	Scambi termici con l’esterno .....	102
5.2.4	Capacità termica .....	103
5.2.5	Apporti termici interni.....	103
5.2.6	Sistema di riscaldamento.....	104
5.2.7	Calcolo della temperatura ambiente .....	104
5.2.8	Carico termico dell’edificio.....	105
5.3	SALDO AL NODO DELL’EDIFICIO.....	106
5.4	BEMS PER DSM .....	106
5.4.1	Gestione dell’impianto termico.....	107
5.4.2	Controllo T1.....	107
5.4.3	Controllo T2.....	107
5.4.4	Controllo T3.....	108
5.4.5	Controllo SA (Smart appliance management).....	108
6	CASE STUDY – COMPLESSO LE TORRI DI CAMPOBASSO .....	110
6.1	CARATTERISTICHE DEL COMPLESSO.....	110
6.2	CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE .....	113
6.3	IMPIANTO ELETTRICO, DOMOTICO E DI BUILDING AUTOMATION .....	116
6.4	IMPIANTO TERMICO .....	118
6.4.1	Circuito primario .....	122
6.4.2	Circuito secondario .....	123
6.4.3	Ventilazione meccanica dei locali .....	123
6.5	ALLACCIO UNICO ALLA RETE ELETTRICA.....	124
6.6	ASPETTI INNOVATIVI DEL COMPLESSO “LE TORRI” DI CAMPOBASSO.....	128
6.7	PROGETTO DI UPGRADE DELLA RETE A SERVIZIO DEL COMPLESSO .....	130
6.7.1	Sistema di smart metering .....	130
6.8	SISTEMA DI ACCUMULO ELETTRICO.....	133
6.9	DORSALE HBES KONNEX DI EDIFICIO .....	134
6.10	SUPERVISORE KONNEX DI APPARTAMENTO. ....	134
6.11	SUPERVISORE KONNEX DI EDIFICIO.....	136
6.12	SISTEMA DI SUPERVISIONE (SCADA). SUPERVISIONE DEGLI IMPIANTI. ....	136
6.13	BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS (BMS). CONTROLLO DELLA DOMANDA ELETTRICA – DEMAND SIDE MANAGEMENT DSM .	136
6.14	ELETTRODOMESTICI SMART .....	136
6.15	PREDISPOSIZIONE AD INTEGRAZIONE CON SISTEMI DI RICARICA DI VEICOLI LEGGERI E AUTO .....	137
6.16	NUOVI MODELLI GESTIONALI “MONEY LESS” .....	138
7	SIMULAZIONI.....	139
7.1	SIMULAZIONI CON CARICO LIBERO.....	139
7.2	SIMULAZIONI CON DEMAND SIDE MANAGEMENT .....	141
7.3	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER UNA GIORNATA DI MARZO.....	142
7.4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER UNA GIORNATA DI GENNAIO .....	145
7.5	CONCLUSIONI GENERALI DELLE SIMULAZIONI .....	147

8	CONCLUSIONI.....	149
9	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	152

## Sommario

La ricerca riguarda la modellazione e l'analisi di architetture impiantistiche innovative a servizio di edifici multi unità a prevalente destinazione abitativa (Multi Unit Residential Building MURB) costituiti dal palazzo/condominio con unità immobiliari (appartamenti, uffici e negozi) dislocate verticalmente su più piani, e con servizi comuni di connettività e parcheggi.

Lo studio propone un modello di micro grid elettrica capace di integrare impianti a fonti rinnovabili, e dotata di un sistema di building automation evoluto per l'implementazione di un sistema gestionale dell'intero edificio (Building Energy Management System BEMS) con logiche gestionali avanzate.

In una prima parte (Capitolo 2) sono analizzate le caratteristiche degli edifici MURB classificati come edifici ad energia quasi zero (nearly zero energy building NZEB). Oltre ad una sintesi degli aspetti legislativi e normativi, sono analizzate tutte le tecnologie di impianti tecnici che svolgono un ruolo importante nel panorama degli NZEB.

Nella seconda parte della ricerca (Capitolo 3) è descritto il modello di architettura di micro grid a servizio degli NZEB proposto nella ricerca. La soluzione consiste in una micro grid a servizio dell'edificio con alimentazione esclusivamente elettrica (gas free) di tutti i servizi tecnici sia comuni sia delle singole unità. La micro grid prevede un unico punto di allaccio con la rete di distribuzione elettrica (distributor system operator DSO) a livello di media tensione, una cabina di trasformazione ed una rete di distribuzione di proprietà dell'edificio. La rete alimenta sia i servizi elettrici (comuni di edificio e di singole unità) sia i servizi termici (riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e acqua calda sanitaria). Gli impianti di riscaldamento e di generazione dell'acqua calda sanitaria son previsti di tipo centralizzato con pompa di calore geotermica, serbatoio di accumulo e rete di distribuzione comune fino a centri satellite di unità per lo stacco dei servizi locali di riscaldamento ed acqua calda sanitaria.

Per il sistema di distribuzione elettrica alle singole utenze si possono prevedere soluzioni non convenzionali di montanti con livelli di tensione speciali e/o uso di corrente continua. La presenza della cabina di trasformazione di proprietà aumenta il livello di sicurezza degli utenti poiché è possibile adottare il sistema di distribuzione TN ed impiegare un valore di tensione fase-terra ridotto.

La micro grid proposta è prevista completa di generazione locale da fonte fotovoltaica ed è predisposta all'installazione di sistemi di accumulo a batteria. La micro grid proposta consente l'adozione di una soluzione innovativa di accumulo di tipo distribuita.

La rete elettrica è prevista affiancata da un sistema Home and Building Electronic System HBES (definito dalla norma CEI 205-14 REF) con impiego dello standard aperto Konnex (KNX). Gli impianti della centrale termica sono affiancati da un sistema di Building Automation Control System BACS con impiego dello standard tipicamente impiegato per la gestione delle centrali termiche. Le unità residenziali sono previste cablate con sistema di home automation HES su BUS locale completo di supervisore locale (LS) comunicante in KNX e collegato ad un router (RT) a sua volta connesso alla rete dati (TCP-IP) e collegato attraverso accoppiatori alla dorsale di edificio BES. Il BEMS è allocato su un supervisore centralizzato con funzioni SCADA che integra i due sistemi HBES e BACS e il sistema di misura distribuita evoluto (smart metering SMS) e sul quale sono integrate tutte le funzioni di building energy management systems BEMS, compresa la contabilizzazione degli assorbimenti sulla base dei valori comunicati dal sistema SMS.

Nella terza parte (Capitolo 4) sono descritte le logiche di gestione proposte implementabili nel BEMS di edificio. Uno degli aspetti innovativi consiste nella proposta di gestire l'impianto di riscaldamento e di acqua calda sanitaria, alimentati da pompa di calore elettrica, al fine di ottenere variazioni di potenza elettrica nel nodo di saldo dell'edificio, sfruttando l'inerzia termica degli impianti e il livello di sensibilità al confort degli utenti. La presenza di un puffer di accumulo per la gestione del riscaldamento e dei boiler di accumulo per l'acqua calda sanitaria costituiscono sistemi di accumulo termico naturali che abbinati alla elevata resistenza termica dell'edificio ed alla notevole inerzia termica del sistema dei pannelli radianti, offrono notevoli margini di controllo dell'impianto a parità di comfort o ancora con impatti positivi sul comfort termoigrometrico. Inoltre l'elevata resistenza termica degli ambienti consente un ulteriore livello di gestione sui set point dei termostati locali.

La ricerca ha preso in considerazione le seguenti possibili strategie di gestione dei carichi e dei flussi energetici.

- T1) Controllo delle temperature di setpoint a livello di centrale termica operando forzature sulla temperatura del boiler di accumulo (controllo T1, accumuli termici centralizzati).
- T2) Controllo del riscaldamento a livello di singole unità o di gruppi di unità, operando forzature sui setpoint dell'ordine di  $\frac{1}{2}$  o 1 grado (controllo T2, accumuli termici distribuiti).
- T3) Controllo del riscaldamento a livello di singole unità o di gruppi di unità, operando preriscaldamenti passando dalla temperatura economy alla temperatura di comfort o precomfort. Tale misura oltre ad avere benefici nella gestione del profilo elettrico, offre benefici in termini di comfort generando preriscaldamenti degli ambienti.
- SA) Controllo dei lavaggi elettrici che operano nelle singole unità: lavatrice e lavastoviglie (Controllo SA). A tal fine il modello proposto prevede l'impiego di lavatrici e lavastoviglie smart comunicanti.

Al fine di valutare l'impatto delle strategie di controllo proposte (T1, T2, T3 e SA), è stato sviluppato un modello di simulatore NZEB ex novo, descritto nella quarta parte della ricerca (Capitolo 5). Il modello è finalizzato ad evidenziare l'impatto quantitativo delle logiche gestionali proposte nella parte precedente.

Per una data giornata, il modello analizza: - il profilo di carico termico individuale di ciascuna unità, in base a un modello termico dell'unità, - il comportamento della centrale termica (pompa di calore, boiler, sistema geotermico etc.) e conseguentemente il profilo di carico elettrico per il riscaldamento, - il profilo di carico elettrico individuale di ciascuna unità, - il profilo di generazione fotovoltaica, - l'aggregazione dei profili a livello di edificio. Il modello si basa su un approccio statistico per valutare le presenze e i comportamenti degli utenti.

Nella quinta parte (Capitolo 6) è descritto un esempio applicativo dell'architettura di rete proposta, su un edificio reale in corso di realizzazione, costituito da 92 appartamenti. L'edificio è full electric, dotato di una coppia di pompe di calore geotermiche. È installato un impianto fotovoltaico da 100 kW. L'edificio è dotato di una rete elettrica e di building automation come quella proposta, completa di sistema di smart metering per ogni unità che monitora acqua calda, calore, ed elettricità. Ciascun appartamento è dotato di elettrodomestici smart e cucine a induzione. Il sistema di ventilazione degli ambienti è meccanico attraverso la ripresa d'aria dei servizi e bocchette sulle finestre.

Nella sesta parte (Capitolo 7) è stato valutato per la tipologia di edificio considerata, l'impatto delle 4 strategie di controllo proposte attraverso alcuni indicatori prestazionali utili per l'analisi. Le analisi sono state ripetute per diverse giornate tipo.

Alcune conclusioni sono state riportate nell'articolo: "Smart Micro Grids for Nearly Zero Energy Buildings", Luigi Martirano, Emanuele Habib, Giuseppe Parise, Giacomo Greco, Matteo Manganelli, Ferdinando Massarella, Luigi Parise, IEEE IAS Annual Meeting, Portland 1-7 October 2016.

## 1 Introduzione

L'*edificio ad energia quasi zero* è un edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico, già ridotto, è in gran parte soddisfatto da energia prodotta da fonti rinnovabili in loco o nelle vicinanze.

Il presente lavoro vuole evidenziare le distinzioni tra le definizioni di *edificio a energia quasi zero* (NZEB) e di *edificio ad energia zero* (ZEB). Il termine *energia zero* si riferisce ad edifici energeticamente autonomi, ossia potenzialmente *off-grid*. La differenza è notevole come sarà evidenziato nei capitoli successivi e riguarda in particolare l'impatto con la rete elettrica.

La qualifica di NZEB si basa sul quantitativo annuale di energia primaria e non già sul bilancio istantaneo di potenza, per cui non tiene conto dell'impatto sulle reti tecniche (elettrica e gas). Per tale ragione, è certamente più appropriato introdurre la definizione di edificio a energia "net zero" (zero al netto) in luogo di "nearly zero" (quasi zero). In un edificio NZEB lo scambio di potenza con la rete elettrica può avvenire nei due sensi e ciò può generare fenomeni caotici nella rete, come evidenziato da studi [XX].

Un edificio che riesca a bilanciare istantaneamente consumi e generazione risulta invece con impatto nullo sulla rete elettrica. Tale tipologia di edificio può essere definito : edificio ad energia a km 0 (KZEB).

Il presente lavoro evidenzia come un edificio classificato NZEB per la qualità degli isolamenti e l'efficienza degli impianti possa ottenere un ulteriore miglioramento prestazionale attraverso l'impiego di sistemi di gestione dell'energia (Building Energy Management Systems) che operano sui sistemi di controllo dell'edificio (Building Automation Control Systems BACS) grazie alle informazioni ricevute dai BACS stessi e dal sistema di metering.

Il BEMS attua alcune logiche gestionali per ottimizzare l'autoconsumo della generazione locale, ottimizzare la prestazione degli impianti termici in funzione delle effettive esigenze e controllare alcuni carichi differibili al fine di controllare il diagramma complessivo di assorbimento elettrico dell'edificio.

L'architettura di impianti suggerita per il modello di NZEB residenziale multifamigliare è del tipo full elettrico (gas free), con unico allaccio elettrico per tutto l'edificio, un sistema di riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria centralizzato a pompe di calore con geotermia. Gli impianti sono dotati di sistemi domotici e di building automation come ampiamente descritto nel report e di sistema di metering, integrati a livello di supervisore di edificio. Lo scambio delle informazioni tra unità e supervisore di edificio consente l'implementazione di algoritmi di controllo per l'ottimizzazione della performance, sfruttando lo storage termico degli impianti termici e la differibilità di alcuni carichi (smart appliance).

A tal fine è stato messo a punto un software di simulazione degli NZEB finalizzato alla valutazione dell'impatto dei sistemi di controllo sulla prestazione energetica dell'edificio attraverso alcuni indicatori di performance (KPI).

L'architettura di rete proposta per edifici di tipo residenziale multi unità consiste in una visione innovativa degli impianti tecnici elettrici e termici, entrambi visti come impianti centralizzati e facenti parte di un'unica micro grid elettrica, con unico allaccio ed unica interfaccia con la rete di distribuzione e gestita in modo integrata. La micro grid è dotata di un sistema di building automation e monitoraggio integrato che consente l'implementazione di logiche gestionali avanzate. L'ottimizzazione energetica che ne scaturisce è consistente perché applicata a un insieme significativo di utenze con un carico elettrico importante ed un elevato livello di flessibilità.

In questa visione, l'edificio può essere considerato un soggetto unico che interagisce con la rete di distribuzione elettrica, potenziando le sue prestazioni in termini di efficienza energetica e riducendo i costi di approvvigionamento. In tale approccio, il demand side management (DSM) della domanda di energia elettrica può avere un notevole impatto, specialmente tenendo in considerazione la presenza di un numero elevato di carichi gestibili, come gli elettrodomestici (ad es. lavatrici) ed i sistemi di riscaldamento, condizionamento e acqua calda sanitaria, che possono essere gestiti anticipando l'erogazione di potenza, sfruttando l'edificio stesso come accumulo di energia termica.

La ricerca ha evidenziato come i sistemi di building energy management BEMS avanzati riescano a migliorare significativamente il comportamento energetico degli edifici anche di tipo residenziale



multiunità. Per quanto riguarda gli edifici classificati NZEB la prestazione energetica, con l'impiego delle logiche di controllo BEMS analizzate, risulta ottimizzata rispetto alla prestazione che si avrebbe senza controlli avanzati, nel valore di consumo totale energetico (incidenze fino al 10%), nel valore di picco della potenza assorbita (incidenze fino al 30%) e nel profilo di assorbimento (energia differita fino al 30% di quella giornaliera). La gestione dell'erogazione di potenza dell'impianto di riscaldamento comporta un modesto incremento del fabbisogno termico, ampiamente compensato dalla riduzione del fabbisogno complessivo e dall'incremento dell'autoconsumo della produzione locale di energia conseguenti alla razionalizzazione del profilo di carico.

Tale ottimizzazione consente di ottenere un comportamento virtuoso dell'edificio non solo in termini di saldo energetico annuale (qualifica NZEB) ma anche di profilo istantaneo di potenza (concetto proposto di KZEB km zero energy building) con impatto sulle reti di distribuzione "limitato e senza punte".

I vantaggi sono di risparmio economico e maggiore comfort per gli utenti e di minore impatto per il distributore.

Infine la ricerca di mostra che il modello proposto con impiego di soluzioni completamente elettriche ovvero prive di riscaldamento centralizzato a gas e di cogenerazione, oltre a rendere ancora più flessibile il profilo energetico, rende l'edificio a emissioni zero o "zero emission building" (ZEB).

Pertanto, la micro grid proposta consentirebbe un importante sviluppo di soluzioni domotiche, di building automation e di smart appliance.

## 2 Edifici a energia quasi zero

### 2.1 Generalità

L'efficienza energetica negli edifici è un elemento chiave delle politiche europee sui cambiamenti climatici e la sostenibilità energetica e uno tra i cinque obiettivi che l'Unione Europea è chiamata a raggiungere entro il 2020 (*strategia Europa 2020*). Ciò in quanto quasi il 40% del consumo energetico finale e il 36% delle emissioni di gas serra è dovuto agli edifici.

Attraverso la Direttiva 2009/29/CE, entrata in vigore nel giugno 2009 e valida dal gennaio 2013 al 2020, che modifica la direttiva 2003/87/CE, l'Unione Europea si propone di contrastare i cambiamenti climatici e promuovere l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, stabilendo degli obiettivi vincolanti per i Paesi membri.

Gli obiettivi del pacchetto 20-20-20 per il clima e l'energia sono:

- riduzione delle emissioni di gas serra del 20% (o persino del 30%, se le condizioni lo permettono) rispetto al 1990;
- copertura del 20% del fabbisogno di energia attraverso fonti rinnovabili;
- aumento del 20% dell'efficienza energetica;

Il miglioramento della prestazione energetica degli edifici europei è quindi, un aspetto di fondamentale importanza, non solo per il raggiungimento degli obiettivi fissati per il 2020 da parte dell'UE, ma anche per il conseguimento degli obiettivi più a lungo termine della nostra strategia climatica nell'ambito della tabella di marcia verso un'economia a bassa intensità di carbonio entro il 2050.

Il concetto di *edificio a energia quasi zero* (*Nearly Zero Energy Building*, NZEB) è definito per la prima volta all'interno della Direttiva europea 2010/31/EU ovvero *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) *recast*. Emanata nel 2010, prosegue la strategia Europa 2020 in tema di sviluppo sostenibile, invitando gli Stati membri ad introdurre normative sulla prestazione energetica degli edifici.

L'*edificio ad energia quasi zero* è un edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico, già ridotto, è in gran parte soddisfatto da energia prodotta da fonti rinnovabili in loco o nelle vicinanze. La direttiva EPBD prevede che gli Stati membri provvedano affinché tutti gli edifici di nuova costruzione siano NZEB entro il 31 dicembre 2020 e che a partire dal 31 dicembre 2018 siano NZEB tutti gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi.

Gli aspetti fondamentali di un NZEB sono l'involucro, la produzione di energia da fonte rinnovabile e gli impianti.

L'involucro deve essere costruito seguendo le più avanzate tecniche di isolamento termico, limitando la trasmissione del calore, e regolando al meglio l'umidità, l'illuminazione naturale e la ventilazione, in modo da ottenere elevate prestazioni sia in inverno che in estate.

Tra le varie tecnologie utilizzate, per raggiungere un'efficienza energetica sempre più alta, ci sono: isolanti innovativi, sostanze a cambiamento di fase, "superfinestre" (finestre caratterizzate da trasmittanza bassissima e capaci di regolare la trasmissione della radiazione solare), sistemi di controllo capaci di gestire in modo intelligente i flussi energetici.

Il controllo della ventilazione, svolge un ruolo importante nel contenere le perdite energetiche dell'edificio nel periodo invernale, per questo è necessario un sistema di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore, in grado di mantenere una corretta qualità dell'aria interna sia per il comfort che il controllo dell'umidità.

Naturalmente, dovranno essere considerate le peculiarità climatiche e la tipologia di utenti cui sono destinati gli ambienti.

Tra gli NZEB sono varie le tipologie adottate, basate su tecnologie diverse, ma tutte efficaci, volte ad ottenere una richiesta energetica dell'edificio molto bassa, mantenendo però elevati livelli di comfort termo-igrometrico.

Occorre distinguere le definizioni di *edificio a energia quasi zero* (NZEB) e di *edificio ad energia zero* (ZEB). Il termine *energia zero* si riferisce ad edifici energeticamente autonomi, ossia potenzialmente *off-grid*.

La differenza è notevole come sarà evidenziato nei capitoli successivi.

La qualifica di NZEB si basa sul quantitativo annuale di energia primaria e non già sul bilancio istantaneo di potenza, per cui non tiene conto dell'impatto sulle reti tecniche (elettrica e gas). Per tale ragione, è

certamente più appropriato introdurre la definizione di edificio a energia "net zero" (zero al netto) in luogo di "nearly zero" (quasi zero). In un edificio NZEB lo scambio di potenza con la rete elettrica può avvenire nei due sensi e ciò può generare fenomeni caotici nella rete, come evidenziato da studi [XX].

Un edificio che riesca a bilanciare istantaneamente consumi e generazione risulta invece con impatto nullo sulla rete elettrica. Tale tipologia di edificio può essere definito : edificio ad energia a km 0 (KZEB).

L'edificio a *energia quasi zero*, d'altro canto, è generalmente collegato a una o più infrastrutture energetiche, siano esse la rete elettrica, il teleriscaldamento-raffreddamento, la rete del gas etc. In questo modo, quando la generazione di energia da fonti rinnovabili è superiore al consumo dell'edificio, il surplus di energia elettrica (o calore) può essere inviato alla rete elettrica (o di teleriscaldamento) e l'energia ceduta alla rete compensa il consumo di energia primaria da combustibili fossili.

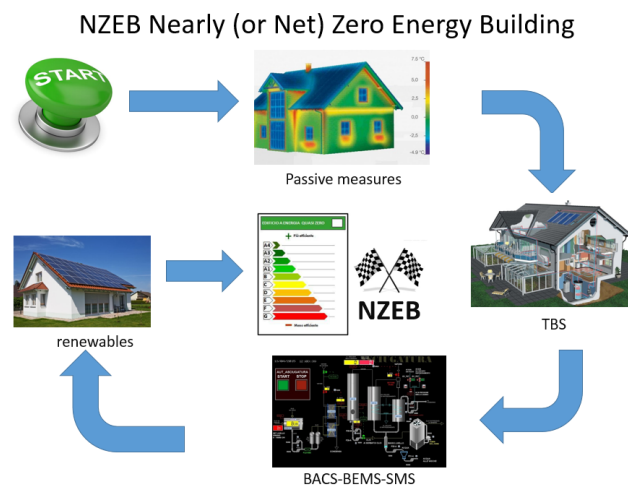
L'elevata efficienza energetica e il basso fabbisogno sono raggiunti attraverso vari strumenti, quali:

- Sviluppo di soluzioni di involucro edilizio ad elevate prestazioni;
- Installazione di componenti e impianti ad alte prestazioni;
- Integrazione di fonti di energia rinnovabili;
- Sistemi di domotica e building automation.

L'isolamento termico della struttura è il primo passo del complesso processo costituito dal progetto, dalla realizzazione e dalla gestione necessari per realizzare un NZEB. Infatti, il processo di qualificazione di un NZEB deve essere visto come un ciclo permanente in cui le misure passive (isolamento termico della struttura) costituiscono solo il primo passaggio.

Per ottenere la qualifica di NZEB, un edificio deve possedere un sistema di impianti tecnici (Technical Building Systems TBS) ad elevata efficienza per la fornitura dei servizi tecnici essenziali dell'edificio quali, riscaldamento, ventilazione, aria condizionata (HVAC), illuminazione, acqua, sistemi di trasporto interni ecc. Il complesso di impianti presenti all'interno di un NZEB necessita quindi di un sistema di building automation (BACS) e di management integrato ad un sistema di metering distribuito (SMS) in un sistema generale di gestione e controllo energetico (building energy management system BEMS).

L'impiego quindi di generazione locale da fonti rinnovabili completa il ciclo di qualificazione di un NZEB.



**Figura 1. Ciclo di un NZEB**

## 2.2 Misure passive

Le elevate prestazioni richieste dagli NZEB necessitano di soluzioni innovative, sia in termini di impianti tecnici sia in termini di involucro edilizio.

Cinque fattori chiave

- 1) Isolamento termico dell'involucro opaco. Un livello ottimale di isolamento termico è essenziale per raggiungere alti livelli di efficienza energetica nel periodo invernale, che costituisce l'impegno energetico prevalente negli edifici residenziali tradizionali. La maggior parte del calore negli edifici convenzionali viene disperso attraverso le pareti esterne, il tetto ed il pavimento. Questo principio è invertito in estate nelle zone climatiche più calde: a fianco di elementi frangisole esterni ed

elettrodomestici ad alta efficienza energetica, l'isolamento termico impedisce la trasmissione del calore dall'esterno verso l'interno. Nelle zone climatiche moderate, lo scambio di calore è dall'interno verso l'esterno anche durante parte del periodo tipicamente estivo, determinando quindi un limite all'efficacia dell'isolamento termico rispetto ai fabbisogni di energia per la climatizzazione in tali periodi.

- 2) Isolamento termico dell'involucro trasparente. Finestre costituite da infissi e pacchetti vetrati ad elevato isolamento termico consentono di ridurre lo scambio termico attraverso gli elementi tradizionalmente più disperdenti. Inoltre, l'uso di schermature mobili, meglio se automatiche, o di vetri in grado di modificare la trasparenza (es. vetri elettrocromici) consentono di controllare gli apporti solari, ottimizzandone la disponibilità nel periodo invernale e riducendoli nel periodo estivo.
- 3) Correggere i ponti termici. I giunti tra i diversi elementi omogenei dell'involucro manifestano comportamenti diversi dagli elementi adiacenti, generalmente con incremento della trasmissione di calore. L'esperienza dei decenni passati [43] ha mostrato come sia essenziale una tecnologia edilizia adeguata, nonché l'isolamento di tali giunti, al fine di ridurre l'incidenza dei ponti termici sulla trasmissione del calore dell'edificio.
- 4) Un involucro edilizio ermetico. La tenuta all'aria dell'intero spazio interno impedisce la perdita di energia e i danni strutturali legati all'umidità per effetto delle infiltrazioni d'aria. Nelle costruzioni "a secco" (es. costruzioni in legno) ciò richiede l'interposizione di un apposito strato di tenuta. In generale, ciò richiede l'adozione di infissi ad elevata tenuta ed una corretta posa di tutti gli elementi prefabbricati finiti (es. finestre, porte)
- 5) Ventilazione controllata con recupero di calore. La tenuta all'aria dell'involucro comporta la necessità di un controllo attivo della ventilazione degli ambienti, che non può essere semplicemente demandata agli utenti, per garantirne la salubrità, il confort ed il controllo dell'umidità. D'altra parte, ciò consente di veicolare i flussi d'aria in uscita ed in ingresso agli ambienti in scambiatori di calore che consentono il recupero dell'energia dell'aria espulsa, fino al 90% e oltre.

### 2.2.1 Involucro edilizio

L'involucro deve essere realizzato in base alle più avanzate tecniche costruttive, in modo da gestire al meglio la trasmissione del calore e del vapore, l'illuminazione e la ventilazione, al fine di ottenere elevate prestazioni energetiche sia in condizioni invernali che in condizioni estive.

Nel campo degli isolanti termici sono già presenti soluzioni avanzate, quali ad esempio i materiali detti *superisolanti*, che possono raggiungere valori di trasmittanza termica molto bassi: pannelli isolanti con aerogel presentano valori di conduttività termica di 0.013 W/mK, mentre i pannelli isolanti sotto vuoto raggiungono valori nominali di conducibilità termica di 0.007 W/mK. D'altra parte, nel caso di edifici di nuova costruzione, la normativa vigente consente di realizzare elevati isolamenti anche con materiali tradizionali in quanto il volume occupato dagli stessi è omesso nel calcolo di verifica del limite urbanistico di edificabilità.

Per quanto riguarda la prestazione energetica estiva, sono disponibili materiali con elevata riflettanza solare (*cool materials*) che possono raggiungere valori fino al 90%, garantendo comunque una buona qualità cromatica per l'integrazione architettonica. Altra soluzione innovativa è costituita dai materiali cosiddetti *termo-cromici*, in grado di cambiare colore a seconda della temperatura superficiale: diventano bianchi al di sopra di un preciso valore di temperatura, per tornare al colore originale quando si raffreddano. Sono altresì disponibili prodotti edilizi (pannelli e intonaci) contenenti materiali a cambiamento di fase, in grado di immagazzinare energia termica a temperatura ambiente. Altri materiali sono in fase di studio, quali i materiali *foto-cromici*.

Per quanto riguarda gli elementi trasparenti, sono commercialmente disponibili infissi a bassa trasmittanza in diversi materiali (legno, alluminio, PVC, ecc.). Parallelamente, sono migliorate le prestazioni dei pacchetti vetrati, ottenute con rivestimenti basso emissivi, l'uso diffuso di Argon nelle intercapedini, l'adozione di pacchetti a tre o più vetri. Per il controllo dell'irraggiamento solare diretto, sono inoltre disponibili ed in fase di perfezionamento, sia per la tecnologia di produzione (per la riduzione del costo), sia per le qualità ottiche di nitidezza dell'immagine, vetri *elettrocromici*.

Infine, le opzioni tecnologiche per i sistemi di schermatura della radiazione solare diretta si sono moltiplicate, garantendo ampie possibilità di integrazione architettonica. L'uso evoluto di tali sistemi può inoltre consentire ulteriori risparmi anche in periodo invernale per la schermatura dello scambio radiativo nell'infrarosso in periodo notturno.

### 2.3 Prestazione energetica di un edificio

La prestazione energetica degli edifici è data dalla quantità di energia necessaria annualmente per soddisfare le esigenze legate a un uso standard dell'edificio e corrisponde al fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria (ossia l'energia necessaria al netto dell'efficienza di trasformazione dell'energia primaria in energia elettrica) per il riscaldamento, il raffrescamento, per la ventilazione, per la produzione di acqua calda sanitaria, per l'illuminazione, gli impianti ascensori e scale mobili. Il calcolo convenzionale prevede:

- Il fabbisogno energetico annuale globale si calcola come aggregato dell'energia primaria per singolo servizio energetico, con intervalli di calcolo mensile.
- Con le stesse modalità si determina l'energia da fonte rinnovabile prodotta all'interno del confine del sistema.
- Si opera la compensazione tra i fabbisogni energetici e l'energia da fonte rinnovabile prodotta e utilizzata all'interno del confine del sistema.
- Affinché la compensazione non sia un mero calcolo algebrico, è consentito tenere conto del contributo al bilancio energetico dell'energia da fonte rinnovabile o da cogenerazione prodotta nell'ambito del confine del sistema (in situ) alle seguenti condizioni:
  - i. Solo per contribuire ai fabbisogni del medesimo vettore energetico (elettricità con elettricità, energia termica con energia termica, ecc);
  - ii. Fino a copertura totale del corrispondente fabbisogno o vettore energetico utilizzato per i servizi considerati nella prestazione energetica. L'eccedenza di energia rispetto al fabbisogno mensile, prodotta in situ e che viene esportata, non concorre alla prestazione energetica dell'edificio. In relazione alla cogenerazione, l'energia utilizzata dal cogeneratore viene allocata all'energia elettrica e termica prodotta dallo stesso secondo quanto segue, in modo da compararla ai sistemi di produzione ordinari alternativi, considerando un rendimento di riferimento del sistema elettrico nazionale  $\eta_{el}$  pari a 0,413 ed un rendimento di riferimento termico  $\eta_{th,ref}$  pari a 0,9. Indicando quindi  $a_w$  e  $a_q$  rispettivamente i fattori di allocazione all'energia elettrica e termica prodotta si ha che:

$$a_w = \frac{\frac{\eta_{el}}{\eta_{el,ref}}}{\frac{\eta_{el}}{\eta_{el,ref}} + \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,ref}}} \quad a_w = \frac{\frac{\eta_{th}}{\eta_{th,ref}}}{\frac{\eta_{el}}{\eta_{el,ref}} + \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,ref}}}$$

- iii. Nel calcolo del fabbisogno energetico annuale globale, fatto salvo quanto previsto al punto ii, l'eventuale energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile in eccedenza ed esportata in alcuni mesi, non può essere computata a copertura del fabbisogno nei mesi nei quali la produzione sia invece insufficiente;
- iv. L'energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile non può essere conteggiata ai fini del soddisfacimento di consumi elettrici per la produzione di calore per effetto Joule, con sistemi diversi da pompe di calore.
- v. Nel caso di impianti di generazione da fonte rinnovabile centralizzati, ovvero che alimentino una pluralità di utenze, oppure nel caso di impianti di generazione da fonte rinnovabile che contribuiscano per servizi diversi, per ogni intervallo di calcolo si attribuiscono quote di energia

rinnovabile per ciascun servizio e per ciascuna unità immobiliare in proporzione ai rispettivi fabbisogni termici all'uscita dei sistemi di generazione ovvero ai rispettivi fabbisogni elettrici.

- Ai fini delle verifiche progettuali del rispetto dei requisiti minimi, si effettua il calcolo sia dell'energia primaria totale che dell'energia primaria non rinnovabile, ottenute applicando i pertinenti fattori di conversione in energia primaria totale  $f_{p,tot}$  e in energia primaria non rinnovabile  $f_{p,nren}$  di cui alla Tabella 1.
- Il fattore di conversione in energia primaria totale  $f_{p,tot}$  è pari a:

$$f_{p,tot} = f_{p,nren} + f_{p,ren}$$

$f_{p,nren}$  : fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile

$f_{p,ren}$  : fattore di conversione in energia primaria rinnovabile

**Tabella 1. Fattori di conversione in energia primaria**

Vettore energetico	$f_{p,nren}$	$f_{p,ren}$	$f_{p,tot}$
Gas naturale <sup>(1)</sup>	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide <sup>(2)</sup>	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose <sup>(2)</sup>	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete <sup>(3)</sup>	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento <sup>(4)</sup>	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento <sup>(4)</sup>	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.  
<sup>(2)</sup> Come definite dall'allegato X del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.  
<sup>(3)</sup> I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.  
<sup>(4)</sup> Fattore assunto in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza, conformemente al quanto previsto al paragrafo 3.2.  
<sup>(5)</sup> Valori convenzionali funzionali al sistema di calcolo.

È evidente che il calcolo normalizzato corrisponde a esigenze di politica energetica piuttosto che a semplici valutazioni tecniche. Ad esempio, l'esclusione della produzione di energia termica per effetto Joule ha un chiaro valore politico, nonostante di fatto il sistema possa essere a bilancio energetico nullo dal punto di vista tecnico. Inoltre, sono esclusi i fabbisogni energetici interni all'edificio ma connessi al suo uso piuttosto che al suo funzionamento: fabbisogno energetico per cottura, per tecnologie ITC, per elettrodomestici e sistemi di produzione.

Pertanto, per realizzare e gestire edifici effettivamente NZEB o KZEB, a latere del calcolo normalizzato a fini di legge, dovrà essere condotto un calcolo che consideri l'effettivo uso e funzionamento dell'edificio.

## 2.4 Servizi tecnici di edificio ed impianti tecnici di edificio (TBS)

Gli impianti tecnici (TBS) presenti all'interno di un edificio NZEB possono variare da caso a caso in funzione dei servizi tecnici presenti.

Gli impianti tecnici si suole suddividerli in due macro famiglie:

- impianti meccanici, ovvero idro-termo-sanitari;

- impianti elettrici e elettronici, compresi quelli relativi alla comunicazione;
- impianti di trasporto.

Gli impianti meccanici comprendono:

- gli impianti di climatizzazione indicati dall'acronimo HVAC (in inglese), gli impianti sanitari,
- gli impianti antincendio.

Gli impianti di climatizzazione HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning), sono quelli che comprendono a loro volta:

- gli impianti di riscaldamento,
- gli impianti di condizionamento
- gli impianti di ventilazione.

Gli impianti sanitari sono quelli che comprendono:

- gli impianti di smaltimento delle acque reflue e delle acque piovane,
- gli impianti di adduzione idrica,
- gli impianti di pressurizzazione,
- gli impianti di riscaldamento dell'acqua a fini sanitari (ACS).

Gli impianti antincendio comprendono:

- gli impianti di rilevazione e segnalazione incendi,
- gli impianti di spegnimento incendi,
- gli impianti automatici di spegnimento incendi.

Gli impianti elettrici ed elettronici comprendono:

- gli impianti elettrici,
- gli impianti di illuminazione,
- gli impianti elettrici speciali per la sicurezza (safety e security),
- sistemi audio video,
- sistemi bus per gli edifici (HBES),
- building automation e domotica (integrazione di impianti con supervisione),
- reti di comunicazione.

Qualunque *impianto tecnico TBS* che preveda anche un seppur minimo dispendio di risorse, è da considerarsi alla stregua di un *sistema energetico*.

Al fine di realizzare un NZEB è necessario:

- che i sistemi tecnici TBS siano organizzati in una visione d'insieme e non singolarmente;
- prevedere le soluzioni più efficienti e che determinino opportunità di controllo come per esempio pompe di calore, pannelli radianti, smart appliance, ecc.;
- un sistema di gestione energetica (Building Energy Management System BEMS) che consiste in un sistema SCADA capace di gestire e ottimizzare gli impianti TBS;
- i sistemi BEMS necessitano di:
  - 1) un Building Automatic Control Systems (BACS),
  - 2) uno smart metering system (SMS),
  - 3) un building manager (BM).

Gli impianti di un NZEB non possono essere gestiti come strutture passive autogestite, ma sono sistemi che necessitano di una gestione e manutenzione continua.

In questa ottica i sistemi gestionali che si avvalgono dei sistemi di controllo giocano il ruolo principale.

Il ciclo è del tipo: design – install – operate – optimize (DIOO).

Gli algoritmi di ottimizzazione gestionale implementati attraverso il BEMS possono essere migliorati in modo continuativo durante l'esercizio dell'edificio facendo tesoro dei dati di misurazione disponibili tramite il sistema di metering.

La Figura 2 illustra il ciclo completo NZEB.

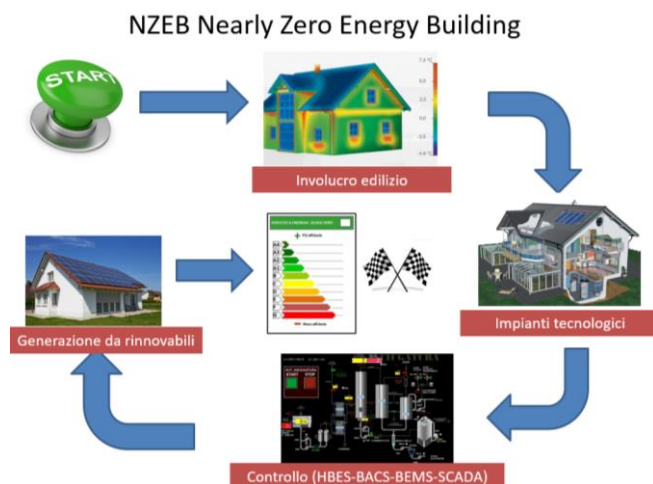


Figura 2. Ciclo di definizione di un edificio ad energia quasi zero (NZEB)

In questa ottica oltre al progettista giocano un ruolo chiave gli esecutori e soprattutto i gestori/manutentori.

#### 2.4.1 Pompe di calore

I sistemi di generazione del calore tradizionali a combustione non possono mai realizzare sistemi a energia zero in quanto tutti i combustibili hanno una componente non rinnovabile. I sistemi di generazione di energia termica da solare, salvo casi particolari, hanno distribuzioni annuali della disponibilità inadeguati per la climatizzazione estiva in assenza di sistemi di accumulo termico stagionali. Pertanto, in assenza di condizioni particolare, come ad esempio sorgenti geotermali, il sistema preferenziale per la produzione di energia termica sono le pompe di calore che consentono di utilizzare la produzione di impianti fotovoltaici. Inoltre, l'architettura di tali sistemi ne consente una maggiore integrazione con gli altri TBS, permettendo una maggiore efficacia del BEMS.

Le pompe di calore utilizzano l'energia elettrica per "pompate" l'energia termica dalla bassa temperatura a cui è disponibile nell'ambiente esterno alla temperatura a cui è richiesta nell'ambiente interno. Ciò consente di ottenere una quantità maggiore di energia termica alla temperatura utile rispetto all'energia elettrica assorbita (contrariamente alla produzione termica per effetto Joule in cui l'energia termica ottenuta è pari all'energia elettrica assorbita), secondo un coefficiente moltiplicatore indicato con l'acronimo COP.

Dal teorema di Carnot deriva che tanto minore è la differenza tra le temperatura degli ambienti esterno ed interno tanto maggiore sarà il COP e quindi l'efficienza del sistema. Ciò ha indotto Lord Kelvin a consigliare l'adozione di pompe di calore per il riscaldamento degli ambienti già nel 1852.

Da quanto esposto segue che l'efficienza di una pompa di calore è minore quanto il fabbisogno termico dell'edificio è maggiore. Al fine di ridurre tale controreazione negativa è possibile utilizzare pompe di calore con scambiatore freddo interrato, comunemente designate come pompe di calore geotermiche.

Tale macchina (detta anche impianto geotermico a bassa entalpia per distinguerla dagli impianti che sfruttano sorgenti termali ad alta temperatura) è un impianto di produzione termica che sfrutta lo scambio termico con il sottosuolo superficiale, per mezzo di una pompa di calore. Il calore assorbito dalla pompa di calore proviene prevalentemente dall'aria ambiente, mediato dal terreno, che di fatto funziona da sistema di accumulo stagionale. Infatti, il calore effettivamente proveniente dal terreno è pari a circa  $0.065 \text{ W/m}^2$ .

Ciononostante la porzione di energia termica fornita dalla pompa di calore in aumenta all'energia primaria assorbita dalla pompa di calore è considerata convenzionalmente energia da fonte rinnovabile.

Sono generalmente realizzate da un ciclo nel quale il fluido frigorifero prima evapora ricevendo calore dall'acqua proveniente dallo scambiatore con il terreno ed è compresso (impegnando energia meccanica prodotta dal motore elettrico) in modo da ottenere del vapore caldo che si raffredda e condensa raffreddando direttamente l'aria ambiente o, più comunemente, l'acqua che alimenta i terminali di



riscaldamento, per poi essere riportato allo stato iniziale per effetto della laminazione in un'apposita valvola.

Invertendo il ruolo degli scambiatori di calore di queste macchine, possono essere utilizzate sia per riscaldare (pompa di calore) che per raffreddare (macchina frigorifera).

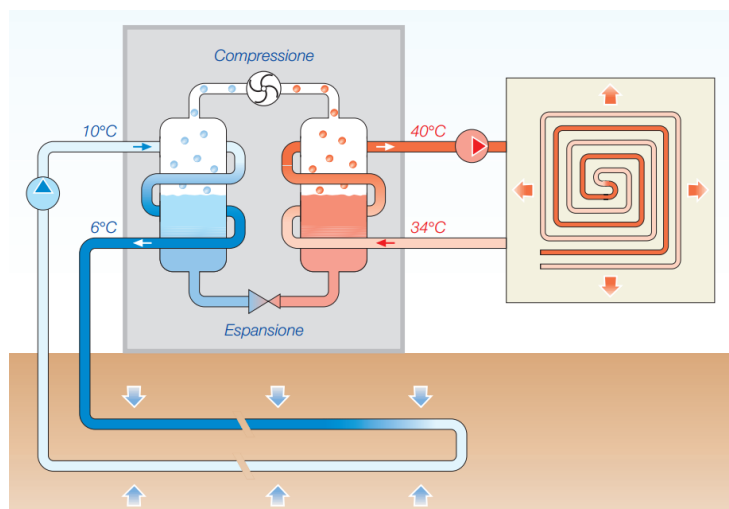
Le prestazioni delle PDC sono generalmente individuate mediante due coefficienti forniti dai produttori:

- il coefficiente  $\epsilon$  relativo al solo funzionamento del compressore
- il coefficiente COP relativo al funzionamento del compressore e dei mezzi ausiliari.

Ad esempio, se il valore di COP è uguale a 4, vuol dire che con 1 kWh di energia elettrica, spesa al compressore, è possibile erogare 4 kWh di energia termica.

Poiché la prestazione della pompa di calore è più elevata in presenza di minori differenze di temperatura tra lo scambiatore caldo e quello freddo, costituisce una soluzione ad elevata efficienza energetica in particolare quando alimenta sistemi di riscaldamento a bassa temperatura come i pannelli radianti.

Le PDC geotermiche (ground source heat pump GSHP) possono raggiungere COP che superano il 6.



**Figura 3. Schema di funzionamento di una PDC geotermica (ground source heat pump)**

Le temperature di mandata dell'acqua calda della PDC geotermica può arrivare fino a valori dell'ordine di 45–47 °C, ed è inoltre possibile sfruttare il raffreddamento del vapore secco in uscita dal compressore fino a vapore saturo (desurriscaldamento) per ottenere una parte dell'energia termica a temperature più elevate, ad esempio per la produzione di acqua calda sanitaria.

Ad una profondità superiore a 2-3 m, il terreno indisturbato ha una temperatura pari alla temperatura media annuale della località, generalmente 14-15°C. Ovviamente, lo scambio con il sistema geotermico determina una progressiva riduzione di tale temperatura durante la stagione invernale, che tenderà a tornare ai valori originali durante il resto dell'anno e per effetto dello scambio con le porzioni di terreno adiacente. Qualora il sistema sia utilizzato per i sistemi di climatizzazione estiva il ripristino sarà più rapido e potrà determinare perfino un innalzamento della temperatura all'inizio della stagione invernale.

La pompa di calore geotermica ha quindi il vantaggio di non dipendere dalle condizioni atmosferiche.

Il calore può essere trasferito alla macchina se nel suolo viene immersa una tubazione all'interno del quale circola un fluido (acqua o acqua glicolata) ad una temperatura inferiore a quella del suolo. L'energia termica a bassa temperatura è derivata dal terreno con appositi scambiatori di calore detti sonde geotermiche.

Le sonde possono essere di tre tipi:

- verticali;
- orizzontali;
- pali energetici.

Il calore è poi ceduto a macchine (le Pompe di Calore PDC) in grado di innalzarne la temperatura fino a valori che rendono possibile sia riscaldare gli edifici sia produrre ACS.

E' possibile utilizzare lo scambio termico anche per il raffrescamento degli edifici. In questo caso, il calore scambiato dagli ambienti è ceduto al terreno. Generalmente è comunque necessario adottare un gruppo frigorifero intermedio tra gli scambiatori nel terreno e in ambiente per ragioni tecniche e tecnologiche.

L'impianto è costituito da:

- una pompa di calore geotermica acqua-acqua,
- un bollitore per produrre acqua calda sanitaria,
- i circuiti per servire i terminali di riscaldamento.

Generalmente la PDC non è in grado di modulare a sufficienza la potenza termica erogata e l'inerzia termica dell'impianto non è sufficiente a garantirne il corretto funzionamento, pertanto va previsto un apposito serbatoio inerziale definito Puffer.

Generalmente, l'acqua calda sanitaria è prodotta con precedenza sul riscaldamento in quanto presenta un'inerzia termica molto inferiore nei periodi di effettiva erogazione che è spesso concentrata prevalentemente in periodi piuttosto brevi. Nello schema esemplificativo in figura 3, quando il relativo termostato segnala una temperatura inferiore a quella richiesta, la PDC porta la temperatura del fluido al valore massimo di funzionamento e la valvola deviatrice manda in apertura la via che collega la PDC al bollitore.

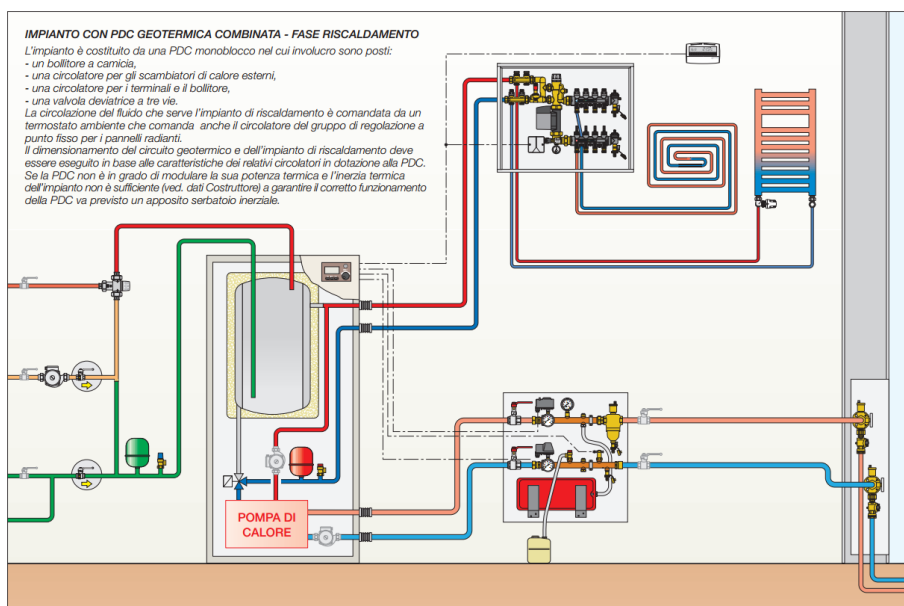


Figura 4. Impianto con PDC geotermica combinata in fase riscaldamento

Gli scambiatori con il terreno possono essere classificati in:

- scambiatori a bassa profondità
- scambiatori a media profondità-scambiatori ad alta profondità

#### Scambiatori a bassa profondità

Sono scambiatori, realizzati con tubi in materiale plastico.

La loro profondità di posa varia da 0,8 m a 4,0 m. Hanno minor impatto ambientale e minor costo rispetto a quelli con profondità, non richiedono autorizzazioni speciali per l'installazione, ma richiedono superfici piuttosto estese

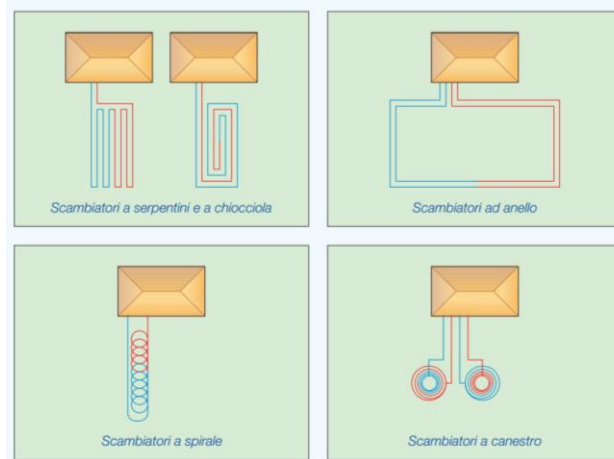
A causa della profondità di posa modesta, possono avere problematiche di interferenza con altri impianti.

Ci sono problemi nel caso si derivi troppa energia termica dal terreno perché potrebbe avvenire il "collasso" dell'impianto, oppure la messa in crisi della vegetazione che cresce sopra la zona di posa degli scambiatori (erba) o confina con essa (piante, siepi, ecc ...).

Il possibile "collasso" dell'impianto è causato dal fatto che, con temperature troppo basse del fluido di scambio, le PDC lavorano con COP molto ridotti e quindi con potenze termiche non in grado di soddisfare le prestazioni richieste.

Essi sono classificati in:

- scambiatori a serpentine e a chiocciola
- scambiatori ad anelli;
- scambiatori a spirale;
- scambiatori a canestri;



**Figura 5. Tipi di scambiatori a bassa profondità**

**Scambiatori a serpentine e a chiocciola**

Gli scambiatori a serpentine e a chiocciola sono caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- resa dell'ordine di 10-40 W/m<sup>2</sup>;
- interasse tubi = 40 cm
- superficie del terreno libera
- superficie del terreno non impermeabilizzata

**Tabella 2. Superficie richiesta per scambiatori a serpentine o a chiocciola**

Potenza pompa di calore [W]	Superficie richiesta per scambiatori a serpentine o a chiocciola							
	Superficie richiesta [m <sup>2</sup> ] (terreno sabbioso umido 20 W/m <sup>2</sup> )		Superficie richiesta [m <sup>2</sup> ] (terreno argilloso umido 30 W/m <sup>2</sup> )		Potenza scambiata con il terreno [W]		Potenza elettrica assorbita dalla PDC [W]	
	COP = 3,0	COP = 4,0	COP = 3,0	COP = 4,0	COP = 3,0	COP = 4,0	COP = 3,0	COP = 4,0
5000	167	188	111	125	3333	3750	1667	1250
5500	183	206	122	138	3667	4125	1833	1375
6000	200	225	133	150	4000	4500	2000	1500
6500	217	244	144	163	4333	4875	2167	1625
7000	233	263	156	175	4667	5250	2333	1750
7500	250	281	167	188	5000	5625	2500	1875
8000	267	300	178	200	5333	6000	2667	2000
8500	283	319	189	213	5667	6375	2833	2125
9000	300	338	200	225	6000	6750	3000	2250
9500	317	356	211	238	6333	7125	3167	2375
10000	333	375	222	250	6667	7500	3333	2500
11000	367	413	244	275	7333	8250	3667	2750
12000	400	450	267	300	8000	9000	4000	3000
13000	433	488	289	325	8667	9750	4333	3250
14000	467	525	311	350	9333	10500	4667	3500
15000	500	563	333	375	10000	11250	5000	3750
16000	533	600	356	400	10667	12000	5333	4000

**Scambiatori ad anelli**

Gli scambiatori ad anelli hanno una resa dell'ordine di 4-16 W/m.

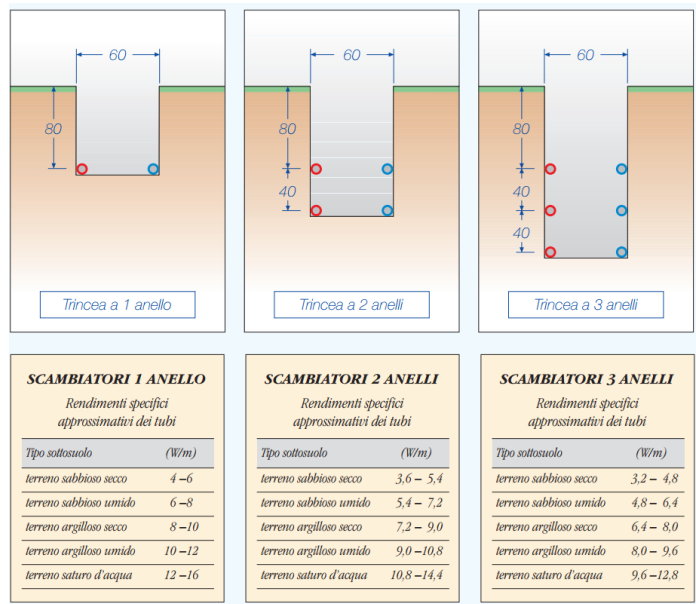


Figura 6. Scambiatori ad anello

**Scambiatori a spirale**

Gli scambiatori ad anelli hanno una resa dell'ordine di 7-40 W/m<sup>2</sup>.

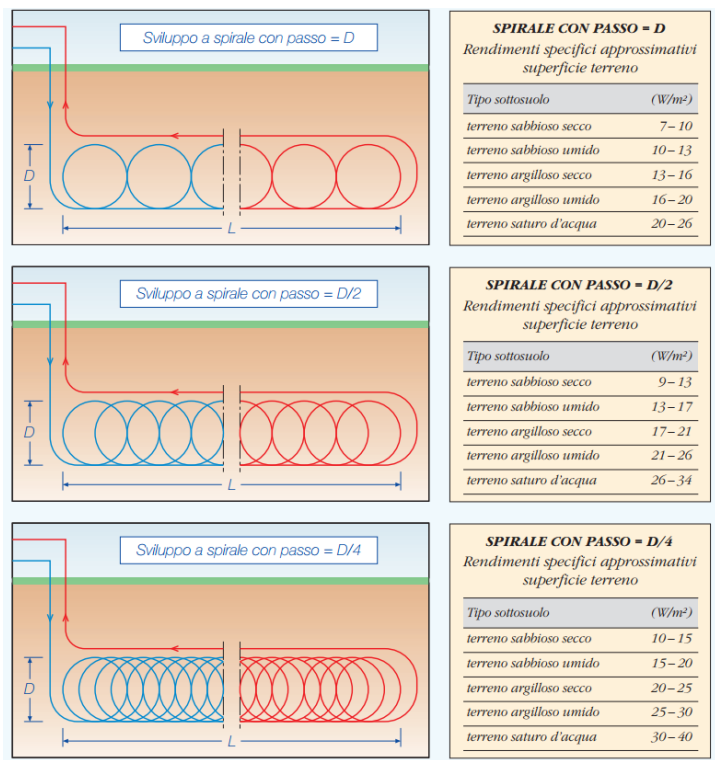
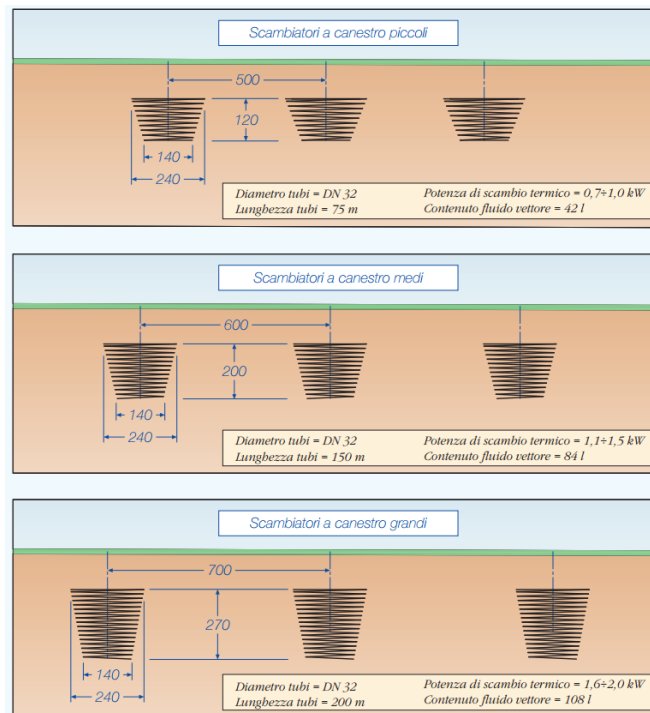


Figura 7. Scambiatori a spirale

**Scambiatori a canestro**

Gli scambiatori ad anelli hanno un potenza di scambio termico unitaria da 0,7 a 2 kW rispettivamente per una lunghezza dei tubi tipica da 75 a 200 m.



**Figura 8. Scambiatori a canestro**

#### *Scambiatori a media profondità*

Sono costituiti da tubi, metallici o in polietilene, installati in verticale fino a profondità di 25-30 m.

Questi scambiatori possono essere realizzati con:

- sonde coassiali;
- pali di fondazione;

Per poter essere utilizzati come scambiatori di calore col terreno, nei pali di fondazione sono inseriti tubi ad U o a spirale: i tubi sono poi collegati alle PDC con circuiti in serie o di tipo compensato a ritorno inverso.

Questa costituisce una tecnologia semplice e poco costosa in quanto non richiede opere aggiuntive in fase di costruzione. Ciononostante, la sovrapposizione delle attività di posa delle tubazioni alle opere di armatura dei pali.

In aree ad media e alta densità urbana, la presenza di altri sistemi di sonde geotermiche può ridurre le prestazioni rispetto ai valori attesi.

#### *Scambiatori a alta profondità (sonde geotermiche)*

Sono chiamati sonde geotermiche e sono realizzati con tubi installati in verticale fino ad una profondità di 100-120 m.

Con la profondità aumenta la resa termica delle sonde in quanto, sotto i 20 m (per effetto del calore scambiato attraverso il mantello terrestre) la temperatura del sottosuolo cresce di circa 3°C ogni 100 m.

Questi scambiatori sono posti in opera in fori con diametro che varia da 100 a 150 mm. Nei fori, sono inseriti uno o due circuiti ad U, realizzati con tubi in PE-Xa, specifici per queste applicazioni particolarmente impegnative. Sono interventi costosi ad elevato impatto.

Occupano superfici modeste ed hanno rese molto alte.

Per terreni comuni argillosi hanno una resa dell'ordine di 40 W/m (4kW/100m). Anche per questa tipologia di scambiatori, la presenza di altri sistemi di sonde geotermiche può ridurre le prestazioni rispetto ai valori attesi.

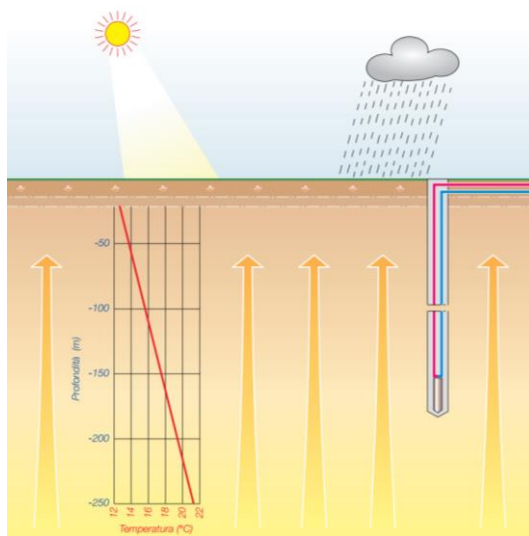


Figura 9. Scambiatori ad alta profondità (sonde geotermiche)

Tabella 3. Caratteristiche dei vari tipi di sottosuolo

Tipo sottosuolo	Conducibilità termica (W/mK)	Potenza estraibile (W/m)	
		1800 ore	2400 ore
<b>Valori guida generali:</b>			
Sottosuolo povero (sedimento secco)	< 1,5	25	20
Rocce e terreni sciolti saturi d'acqua	1,5-3,0	60	50
Rocce ad alta conducibilità termica	> 3,0	84	70
<b>Tipologia roccia/terreno:</b>			
Ghiaia, sabbia, asciutta	0,4	< 25	< 20
Ghiaia, sabbia, saturi d'acqua	1,8-2,4	65-80	55-65
Argilla, terriccio, umido	1,7	35-50	30-40
Calcere (massiccio)	2,8	55-70	45-60
Arenaria	2,3	65-80	55-65
Magmatite silicea (ad esempio, granito)	3,4	65-85	55-70
Magmatite basica (ad esempio, basalto)	1,7	40-65	35-55
Gneiss	2,9	70-85	60-70

### 2.4.2 Sistemi di riscaldamento a pannelli radianti a pavimento

I sistemi di generazione del calore in cui una ridotta temperatura determina prestazioni più elevate, come le pompe di calore, si associano bene a sistemi di riscaldamento a bassa temperatura. Tra i diversi sistemi disponibili, i pannelli radianti a pavimento sono la soluzione di elezione per le applicazioni residenziali. Infatti, gli impianti a pannelli radianti consentono di realizzare un maggiore benessere termico, anche con temperature dell'aria ambiente inferiori rispetto ad altre tipologie d'impianto (es. ventilconvettori). La distribuzione verticale della temperatura dell'aria in presenza di pannelli a pavimento si avvicina a quella ideale, come illustrato in fig. 9. Inoltre la presenza di un'estesa superficie a temperatura superiore all'aria determina una temperatura media radiante superiore alla temperatura dell'aria, con effetto positivo sul confort percepito.

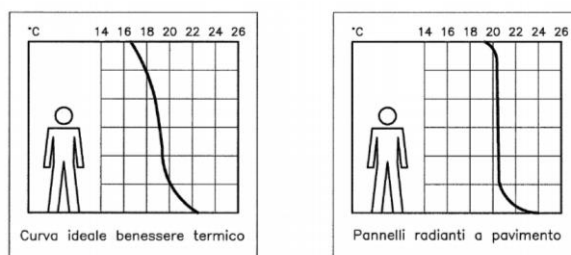


Figura 10. Curva temperatura-quota ideale (sinistra) e generata da pannelli radianti a pavimento (Destra)

Rispetto ai sistemi di riscaldamento tradizionali, gli impianti a pannelli consentono apprezzabili risparmi energetici essenzialmente per due motivi:

1. una temperatura operante (media ponderata tra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante) equivalente con temperatura dell'aria ambiente inferiore;
2. un minor gradiente termico verticale, tra pavimento e soffitto, che comporta una riduzione dello scambio di calore a parità della temperatura alla quota di riferimento (generalmente 1,50 m) tanto più elevato quanto maggiore è l'altezza dei locali.

Altre cause di risparmio energetico sono:

- l'uso di basse temperature dei fluidi termovettori che riduce le dispersioni lungo le tubazioni,
- la mancanza di moti convettivi sulle superfici vetrate.

L'impiego di impianti a pannelli consentono un risparmio energetico variabile dal 10 al 15% rispetto agli impianti di tipo tradizionale. L'abbinamento dei pannelli con PDC geotermiche aumenta l'entità del risparmio per la sinergia positiva dei vantaggi esposti.

Una caratteristica significativa di tali impianti è l'inerzia termica. Gli impianti a pannelli radianti sono caratterizzati da un'elevata inerzia termica in quanto il calore è ceduto dalle strutture in cui sono annegati i pannelli stessi.

In ambienti riscaldati con continuità (e con buon isolamento sotto i pannelli) l'inerzia termica di questi impianti non pone alcun problema e consente:

- un buon adeguamento dell'impianto alle condizioni climatiche esterne;
- interruzioni o rallentamenti di funzionamento.

Nel caso di esercizio intermittente dell'impianto, i tempi di attivazione e disattivazione dell'impianto che vanno normalmente anticipati dell'ordine di una o due ore

Il lavoro svolto vuole evidenziare come tale caratteristica possa essere sfruttata in modo da utilizzare l'accumulo termico nella struttura per la gestione nel tempo del carico elettrico associato al riscaldamento in modo di ottimizzarlo all'interno dell'impianto elettrico generale dell'edificio.

Gli impianti a pannelli radianti a pavimento consentono un moderato raffrescamento dei locali.

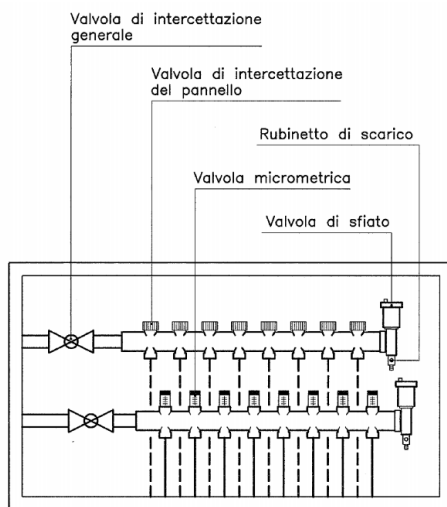
Nel funzionamento in raffrescamento presentano due limiti:

1. limitata resa frigorifera, perché deve essere garantita l'assenza di fenomeni di condensa superficiale o interstiziale (massima potenza frigorifera pari a 40-50 W/m<sup>2</sup>)
2. incapacità di deumidificare.

Condizioni igrometriche di benessere si possono pertanto ottenere solo con l'aiuto di deumidificatori o di impianti di raffrescamento ausiliari che svolgano la funzione prevalente di deumidificazione: vale a dire con integrazioni dell'impianto a pannelli che comportano costi ed ingombri notevoli.

Gli impianti a pannelli radianti possono essere impiegati anche in raffrescamento ma con notevoli limiti di potenza frigorifera e incapacità di deumidificazione.

I tubi che costituiscono i pannelli sono realizzati tipicamente in polietilene reticolato (PEX), polibutene (PB) e polipropilene (PP), ma possono essere anche in rame o altri materiali. Sono derivati da collettori con condotti di andata e ritorno fra loro indipendenti.



**Figura 11. Collettore per distribuzione a pannelli radianti.**

Il flusso di calore emesso da un pannello può essere calcolato tramite la formula:

$$Q = S * \Delta t * B * F_p * F_l * F_m * F_D$$

Dove:

Q = Potenza termica emesso dal pannello verso l'alto, W

S = superficie coperta dal pannello, m<sup>2</sup>

Δt = media logaritmica fra la temperatura del fluido e la temperatura ambiente, °C

B = fattore relativo alle caratteristiche del tubo, W/m<sup>2</sup>K, pari a 6,7 W/m<sup>2</sup>K per tubi con spessore di 2 mm e conducibilità termica pari a 0,350 W/m·K.

F<sub>p</sub> = fattore relativo alla resistenza termica del pavimento, adimensionale

F<sub>l</sub> = fattore relativo all'interasse dei tubi, adimensionale

F<sub>m</sub> = fattore relativo allo spessore del massetto sopra i tubi, adimensionale

F<sub>D</sub> = fattore relativo al diametro esterno del tubo, adimensionale

La media logaritmica fra la temperatura del fluido e la temperatura ambiente Δt è uguale a:

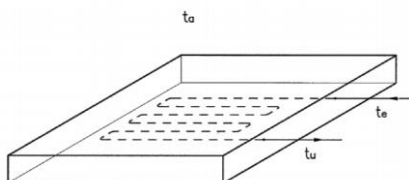
$$\Delta t = \frac{t_e - t_u}{\ln \frac{t_e - t_a}{t_u - t_a}}$$

Dove:

t<sub>e</sub> = temperatura di entrata del fluido scaldante, °C

t<sub>u</sub> = temperatura di uscita del fluido scaldante, °C

t<sub>a</sub> = temperatura dell'aria ambiente, °C



**Figura 12**

Il fattore F<sub>p</sub> dipende dalla conducibilità del massetto e dalla resistenza termica del pavimento e può essere ricavato dalla tabella seguente.

I fattori relativi all'interasse dei tubi F<sub>l</sub>, allo spessore del massetto F<sub>m</sub>, al diametro esterno dei tubi F<sub>D</sub> possono essere ricavati dalla letteratura specifica.



**Tabella 4. Fattore Fp**

Conducibilità massetto W/mK	Resistenza termica del pavimento, m²K/W			
	0,00	0,05	0,10	0,15
2,0	1,196	0,833	0,640	0,519
1,5	1,122	0,797	0,618	0,505
1,2	1,058	0,764	0,598	0,491
1,0	1,000	0,734	0,579	0,478
0,8	0,924	0,692	0,553	0,460
0,6	0,821	0,632	0,514	0,433

I pannelli radianti hanno migliori prestazioni in presenza di pavimenti con modeste resistenze termiche. Nel caso di elevate resistenze termiche dello strato superficiale dovrà essere adeguato l'isolamento termico sottostante al pannello radiante ma sarà possibile adottare spessori inferiori di massetto, limitatamente alle proprietà tecnologiche dei prodotti utilizzati.

La resistenza termica del pavimento è pari a:

$$R_p = s_p / \lambda_p \text{ m}^2\text{K/W}$$

Dove:

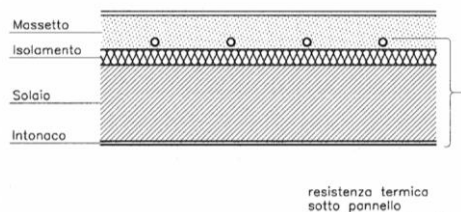
$s_p$  è lo spessore del pavimento in m

$\lambda_p$  è la conducibilità termica del pavimento in W/m·K

Valor tipici di conducibilità termica sono

Ceramica	1,00
Cotto	0,90
Gomma per pavimenti	0,28
Granito	3,20
Linoleum	0,18
Marmo	3,40
Moquette	0,09
Parquet	0,20
PVC per pavimenti	0,23

La resistenza termica sotto il pannello è la resistenza termica della struttura compresa fra il piano tangente superiore dei tubi e l'ambiente sottostante. Dipende dalla tipologia e dallo spessore degli strati di massetto, isolamento, solaio e strati sottostanti.



**Figura 13. Installazione dei pannelli radianti nel massetto.**

La temperatura superficiale del pavimento deve essere inferiore a:

29°C in ambienti dove ci si sofferma in permanenza,

33°C in locali bagno, docce e piscine,

- 35°C in zone perimetrali o in locali dove si accede raramente.

Il rispetto di tali valori pone dei limiti di dimensionamento della potenza termica scambiabile con l'ambiente.

La temperatura superficiale del pavimento non deve superare i 28-29 °C.

In particolare (con temperatura ambiente 20°C) la potenza specifica massima cedibile da un pannello risulta:

100 W/m<sup>2</sup> in ambienti dove ci si sofferma in permanenza.

150 W/m<sup>2</sup> in locali bagno, docce e piscine.

175 W/m<sup>2</sup> in zona perimetrale o in locali dove si accede raramente.

La potenza specifica massima cedibile da un pannello radiante è 100 W/m<sup>2</sup> per gli ambienti ordinari e 150 W/m<sup>2</sup> per i bagni.

La portata massima per circuito è mediamente compresa fra:

– 200 ÷ 220 l/h, per tubi con Di = 16 mm

– 120 ÷ 130 l/h, per tubi con Di = 13 mm

La massima potenza termica che un circuito può cedere in relazione al suo diametro interno, considerando un salto termico di 8°C, risulta:

• QG.max = 1.856 ÷ 2.042 W per Di = 16 mm

• QG.max = 1.114 ÷ 1.206 W per Di = 13 mm

Pertanto, nel caso di locali di ampia superficie è necessario suddividere l'ambiente tra diversi circuiti.

### 2.4.3 Sistemi di regolazione

I sistemi di regolazione degli impianti di riscaldamento a pannelli devono essere in grado di modulare la potenza scambiata in modo da controllare la temperatura ambiente al fine di garantire il comfort termico e il risparmio energetico. Inoltre controllare la temperatura di mandata del fluido ai pannelli per garantirne un corretto funzionamento.

Il sistema di regolazione deve tenere conto dell'inerzia termica dell'impianto.

Per ottimizzare il controllo si adottano regolazioni di tipo climatico che consentono di evitare un sovraccarico delle regolazioni terminali in condizioni di ridotto carico.

Le regolazioni possono essere realizzate nel sottosistema generazione, in quello di distribuzione e in quello di emissione.

La regolazione nel sottosistema emissione può essere del tipo:

F1C: Controllo automatico di ogni ambiente con valvole modulanti

F2B: Controllo automatico di ogni ambiente con comunicazione tra i regolatori e verso il SISTEMA-BUS

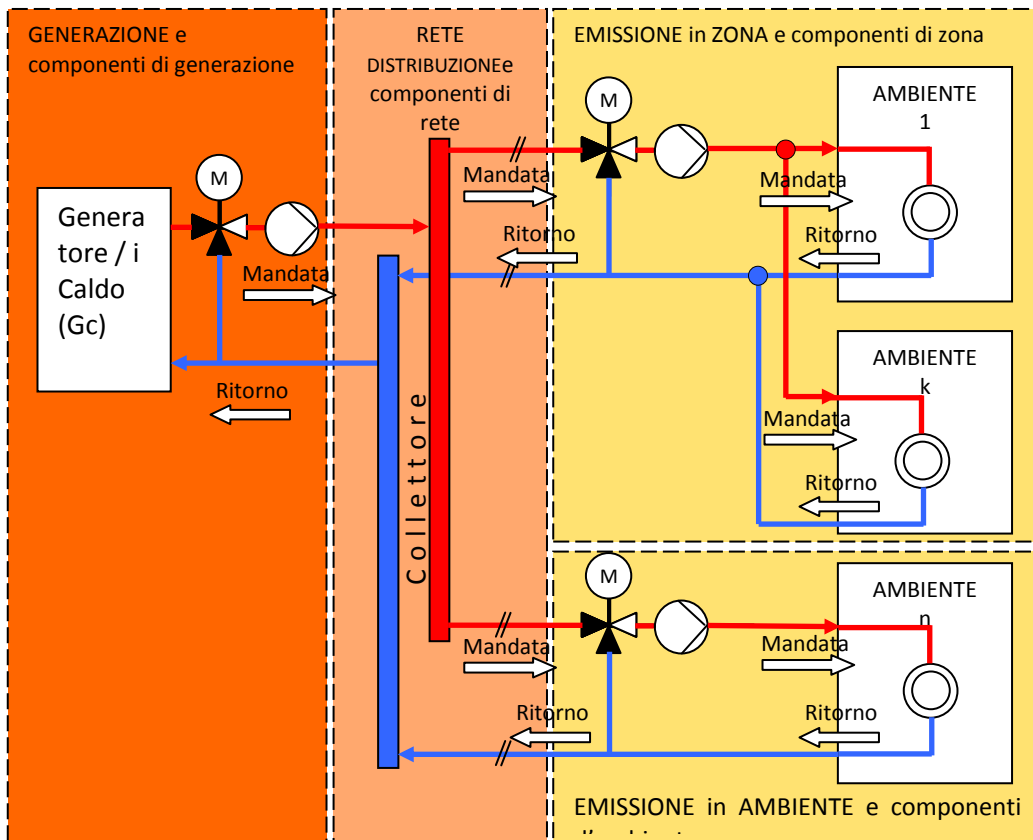
F3A: Controllo integrato di ogni locale con gestione di richiesta (es. per occupazione, qualità dell'aria, etc.)

Nel caso di funzione F1C, il sistema è classificato di classe C ai sensi della norma UNI 15232.

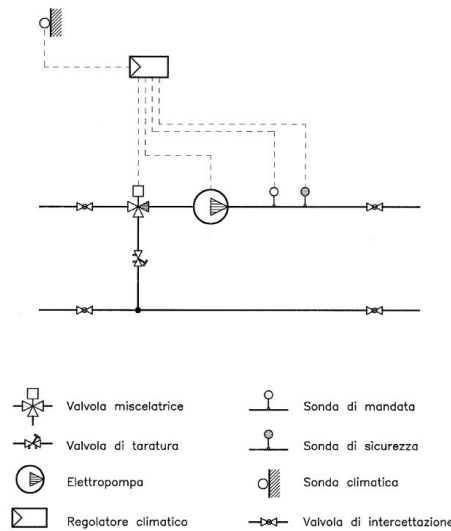
Nel caso di funzione F2B, il sistema è classificato di classe B.

Nel caso di funzione F3A, il sistema è classificato di classe A.

La parte meccanica della regolazione è realizzata con l'impiego di una valvola a tre vie per regolazioni della temperatura di mandata, come nell'esempio in fig. 14, oppure con valvole a due o tre vie per regolazioni della portata.



**Figura 14. Schema del sistema di regolazione**



**Figura 15**

In entrambi i casi, la valvola di regolazione deve essere dimensionata in base alla perdita di carico del circuito pannelli asservito.

F1C Controllo automatico di ogni ambiente con valvole termostatiche o regolatore elettronico  
La temperatura di ogni singolo locale può essere regolata per mezzo di valvole posizionate sulla circuito di ogni radiatore o pannello radiante.

Nel caso di regolatore elettronico, il termostato d'ambiente (1 in fig. 15) dotato di sonda di temperatura a bordo (2 in fig. 15) o remota opzionale regola la portata dell'acqua comandando la valvola (3 in fig. 15). Nel caso dei regolatori meccanici, cosiddetti "termostatici" la trasmissione del segnale di temperatura all'organo mobile della valvola è meccanico. Il sensore di temperatura è generalmente collocato a bordo della testa della valvola, specie nei radiatori, ma può essere anche remoto e connesso con il cosiddetto tubo capillare (indispensabile per gli impianti a pavimento radiante). Entrambe le funzioni sono utilizzabili per la Classe C sia nel residenziale che nel non-residenziale

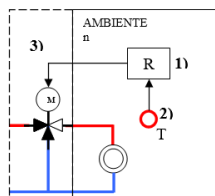


Figura 16. Schema del sistema di regolazione con regolatore elettronico

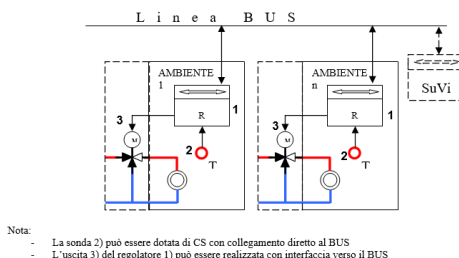
F2B. Controllo automatico di ogni ambiente con comunicazione tra i regolatori e verso il Sistema-HBA  
 La temperatura di ogni singolo locale può essere regolata per mezzo un regolatore elettronico dotato di Comunicazione Seriale per il coordinamento con regolatori in altri locali. La funzione è utilizzabile per la Classe B sia nel residenziale che nel non-residenziale

Il Regolatore (1 in fig. 15) dotato di sonda di temperatura integrata o remota (2 in fig. 15) regola la portata del fluido per mezzo della valvola (3 in fig. 15).

La funzione è realizzata con apparecchi dotati di CS: consente il coordinamento della regolazione di temperatura tra diversi ambienti e la loro gestione da un'eventuale postazione centrale.

Il regolatore (1 in fig. 16) invia sulla linea BUS le informazioni relative al locale controllato ( ad es. grado di apertura, temperatura rilevata).

Nello schema in fig. 16 è visualizzato un eventuale supervisore centrale (SuVi), per il monitoraggio e/o la gestione del sistema HBA di edificio.



Nota:  
 - La sonda 2) può essere dotata di CS con collegamento diretto al BUS  
 - L'uscita 3) del regolatore 1) può essere realizzata con interfaccia verso il BUS

Figura 17. Schema di supervisore centrale (SuVi)

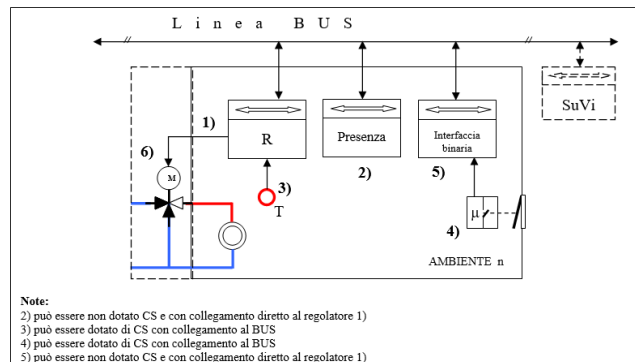
F3A. Controllo integrato di ogni locale con gestione di richiesta (es. per occupazione, apertura serramenti)  
 La funzione prevede un controllo della temperatura di ogni locale con possibilità di interrompere il riscaldamento o metterlo in stato di basso consumo in caso di assenza persone o apertura serramenti esterni o altra logica complessa. Il controllore deve essere dotato di Comunicazione Seriale per comunicare con altri controllori e verso il sistema-BUS.

Il Regolatore (1 in fig. 17) dotato di sonda di temperatura integrata o remota opzionale (3 in fig. 17) regola la portata dell'acqua comandando l'elettrovalvola (6 in fig. 17).

Il riscaldamento può essere interrotto o posto in stato di pre-confort quando il sensore di presenza (2 in fig. 17) rileva la mancanza di persone nel locale oppure quando il sensore (5 in fig. 17) rileva l'apertura di un serramento.

Il regolatore (1 in fig. 17) e i dispositivi (2 in fig. 17) e (5 in fig. 17) inviano sulla linea BUS le informazioni relative al locale controllato (ad es. temperatura rilevata, stato della valvola, occupazione, stato serramenti).

Nello schema in fig. 17 è illustrato un eventuale supervisore centrale (SuVi), per il monitoraggio e/o la gestione del sistema HBA di edificio.



**Figura 18. Schema di supervisore centrale**

#### 2.4.4 Ventilazione. Estrattori con recupero di calore.

La ventilazione, naturale o meccanica, realizza il ricambio dell'aria negli ambienti confinati. Le moderne tecnologie a servizio degli NZEB consentono la realizzazione di ambienti sempre meglio isolati termicamente, con soluzioni che rendono di fatto gli edifici stagni all'aria. Senza un rinnovo controllato dell'aria, gli ambienti confinati potrebbero divenire insalubri per la mancanza dei requisiti relativi alla qualità dell'aria interna.

Negli edifici NZEB a causa dell'elevato livello di isolamento, la ventilazione dei locali comporta impegni energetici molto rilevanti rispetto al fabbisogno complessivo.

Gli impianti di ventilazione sono pensati e realizzati per far arrivare dell'aria eventualmente trattata in un certo ambiente. Quest'aria può servire solo alla ventilazione, oppure può servire anche per la climatizzazione vera e propria. Il ricambio d'aria può essere realizzato tramite immissione di aria eventualmente trattata attraverso un sistema di distribuzione oppure per effetto dell'estrazione dell'aria.

Nelle analisi condotte nel lavoro è mostrato come il fabbisogno prevalente del sistema di riscaldamento invernale è dovuto all'immissioni di aria dall'esterno, in quanto non preriscaldata.

##### Ventilazione naturale

La ventilazione naturale si attua tramite le aperture sull'involucro edilizio: camini, finestre o aperture su tetto, sfruttando l'effetto camino, cioè la prevalenza indotta dalla maggiore temperatura interna, torri di ventilazione o semplicemente per effetto del moto dell'aria circostante l'edificio.

Nei vecchi edifici le infiltrazioni attraverso gli infissi garantivano in un ricambio dell'aria interna, mentre nei nuovi edifici, per ridurre le dispersioni termiche verso l'esterno, l'introduzione di infissi più efficienti fa sì che le infiltrazioni siano molto limitate.

Il sistema più semplice consiste nella semplice apertura degli infissi; l'efficacia è maggiore se le aperture sono poste su pareti diverse dell'ambiente. In condizioni favorevoli possono essere sufficienti pochi minuti per realizzare il ricambio dell'aria.

Lo svantaggio principale di tale tecnica consiste nell'uscita dell'aria ambiente climatizzata e nell'ingresso di aria molto fredda in inverno (e molto calda e umida in estate) con conseguenti notevoli perdite di energia. Inoltre è difficilmente praticabile il controllo della portata d'aria.

È possibile realizzare sistemi di ventilazione naturale controllata. Si tratta generalmente di dispositivi piuttosto delicati di applicazione piuttosto complessa. Manifestano prestazioni più affidabili e controllabili negli edifici a torre.

##### Ventilazione meccanica

Negli impianti di ventilazione meccanica, la portata d'aria viene garantita tramite l'utilizzo di uno o più ventilatori. Possono essere suddivisi in impianti con o senza canalizzazioni.

Si possono definire due tipologie di Ventilazione Meccanica Controllata: a semplice flusso e a doppio flusso.

In ambito residenziale, generalmente, gli impianti a semplice flusso realizzano l'aspirazione di aria dall'ambiente e la convogliano all'esterno. La ripresa è effettuata tramite apposite feritoie posizionate sui muri perimetrali o sugli infissi. In ambito residenziale l'aspirazione avviene di norma negli ambienti "umidi" (cucina, bagni, lavanderie...), mentre l'immissione avviene in soggiorno e nelle camere da letto. In ambito non residenziale, gli impianti a semplice flusso sono costituiti da impianti di ventilazione con distribuzione ai singoli locali ed espulsione spontanea attraverso le apposite aperture realizzate generalmente nei bagni.

Un impianto di ventilazione meccanica a semplice flusso per unità residenziali di piccole dimensioni, può essere realizzato utilizzando il canale di la ripresa dell'aria presente nei bagni e praticando delle aperture sulle finestre che si attivano in caso di depressione con serranda di sovrappressione.

Un impianto a doppio flusso provvede meccanicamente sia alla mandata che alla ripresa dell'aria. I flussi d'aria immessa ed estratta sono coordinati da un sistema di controllo. Con sistemi a doppio flusso infine è possibile anche il recupero energetico dall'aria di espulsione attraverso i recuperatori di calore.

#### Recuperatore di calore

Un recuperatore di calore è un'unità ventilante a doppio flusso in cui l'aria prelevata dall'esterno scambia calore con l'aria da espellere all'interno di uno scambiatore, così che il flusso più caldo cede parte della sua energia termica a quello più freddo. Nei recuperatori di calore autonomi, lo scambiatore è dotato anche dei ventilatori di immissione ed estrazione d'aria.



Figura 19. Schema di scambiatore di calore

L'efficienza energetica di un recuperatore può essere espressa come il rapporto tra la differenza della temperatura del flusso d'aria di minore portata tra ingresso ed uscita e la massima differenza possibile, pari alla differenza tra le temperature di ingresso dei due flussi d'aria.

Ipotesizzando i seguenti dati

Aria esterna alla casa: 0 °C

Aria interna alla casa: +20°C

Si ottiene la seguente temperatura d'immissione di aria all'interno:

Rendimento del recuperatore pari al 50 %      10 °C

Rendimento del recuperatore pari al 80 %      16 °C

Rendimento del recuperatore pari al 90%      18 °C

## 2.5 Sistemi di building automation (BACS, HBES) e management (TBM, BEMS)

### 2.5.1 Sistemi HBA

Con il termine HBA, Home and Building Automation, si intende in modo generico un sistema ( ad es. BACS o HBES), comprendente prodotti e software per il controllo automatico degli impianti tecnici dell'abitazione e dell'edificio con l'impiego della comunicazione seriale su BUS.

I sistemi di home e building automation (HBA) si basano sui sistemi BUS di edificio (HBES e BACS).

## 2.5.2 Sistemi HBES e BACS

Un sistema di automazione degli impianti tecnici di edificio è un sistema elettrico/elettronico che ha come obiettivo quello di controllare e comandare, in maniera automatizzata o no, un insieme integrato di funzioni in edifici ad uso residenziale, civile, terziario o industriale. [CEI 205-2 2005] si definisce:

- HBES se conforme alla serie di Norme CEI EN 50090 del CLC/CT205
- BACS se conforme alle Norme EN ISO 16484 del CEN/TC247

La caratteristica fondamentale di un sistema HBES è la digitalizzazione dei comandi. Le norme CEI 205-2 e 205-14 indicano i requisiti per la progettazione e l'installazione dei sistemi BUS per la casa e negli edifici (HBES). I sistemi HBES utilizzano un sistema BUS (binary unit system) per la comunicazione, ovvero un sistema sequenziale di trasmissione digitale delle informazioni (segnali elettrici) secondo un protocollo definito. Esistono innumerevoli protocolli di comunicazione. Si fa riferimento nel seguito al protocollo di comunicazione Konnex (o anche KNX) che sta ormai diffondendosi a livello mondiale come lo standard più adatto alla gestione degli impianti tecnici di edificio e che è rispondente alla normativa EN 50090.

Comunicazione seriale su BUS. Tecnica di comunicazione che permette la trasmissione e/o ricezione sequenziale di segnali di controllo, comando o più generalmente di dati tra dispositivi interconnessi mediante mezzo di comunicazione condiviso (ad es. coppia intrecciata, onde radio, raggi infrarossi). Definizione da Norma CEI 205-14 [CEI 205-14]

Un sistema HBES è costituito da un'architettura ad intelligenza distribuita, contenente:

- componenti di sistema, per l'alimentazione, la protezione ed il funzionamento della rete alimentatori, cavi, accoppiatori, ecc.);
- sensori o dispositivi di ingresso (comandi, sensori, ecc.);
- attuatori o dispositivi di uscita (interruttori, regolatori, valvole, ecc.);

Si definisce ad intelligenza distribuita perché ogni componente dell'impianto è dotato di un'intelligenza autonoma con capacità di elaborazione e memorizzazione. Non è necessario un componente centrale o computer. Ciascun componente (sensore o attuatore) è programmato per svolgere autonomamente la sua funzione.

I sensori rappresentano i dispositivi di ingresso perché costituiscono l'interfaccia del sistema verso il mondo esterno ovvero gli utenti e i parametri ambientali.

Gli attuatori rappresentano i dispositivi di uscita perché costituiscono i comandi verso gli apparati di macchine o impianti da regolare.

La digitalizzazione dei comandi consente:

- di automatizzare alcune operazioni;
- di realizzare scenari di funzionamento attivabili secondo schemi logici complessi;
- di tracciare tutte le informazioni e quindi supervisionare e memorizzare;
- di remotizzare qualsiasi comando verso postazioni remote anche fuori dal contesto degli impianti tramite applicativi web.

L'architettura proposta prevede l'impiego di:

- supervisor locali di appartamento;
- supervisor centralizzati di edificio.

Le funzioni eseguibili in un impianto tecnico possono essere suddivise in:

- funzioni elementari, allocate all'interno dei componenti HBES;
- funzioni complesse, allocate in un supervisore locale o centralizzato.

Le funzioni elementari sono quelle che si sarebbero realizzate con un sistema tradizionale (accensione luce, termoregolazione con orario, ecc.).

Le funzioni complesse sono quelle costituite da un insieme di funzioni elementari che seguono logiche booleane, orarie o ancora più complesse.

La guida CEI 205-18 identifica gli schemi funzionali e la stima del contributo alla riduzione del fabbisogno energetico di un edificio dei sistemi di automazione degli impianti tecnici.

### 2.5.3 TBM e BEMS

La parte della gestione di edificio relativa al funzionamento, manutenzione e gestione degli impianti tecnici per la verifica della loro efficienza energetica si definisce TBM, Technical building management.

Comprende funzioni di misura, registrazione e verifica della tendenza dei consumi, rivelazione degli allarmi e diagnostica relative all'uso improprio di energia.

Un sistema di gestione energetica dell'edificio nel suo complesso è definito Building Energy Management System BEMS. Il BEMS è un sistema di controllo basato sul monitoraggio delle apparecchiature meccaniche ed elettriche dell'edificio.

L'ottimizzazione dei BEMS dipende dall'installazione, dall'operatore, dai livelli di controllo, dalla suddivisione

delle zone, oltre che dal tipo di ambiente in cui la soluzione viene applicata.

Questi dati vengono raccolti e trasmessi agli Energy Managers e li guideranno nella modifica dei parametri di funzionamento, nella regolazione del sistema di gestione dell'edificio e nella scelta di una soluzione ottimale di parametrizzazione in un ciclo gestionale sempre attivo che non si limita alla sola "messa in servizio".

La norma europea CEN-EN15232 "Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management" definisce i metodi per la valutazione del risparmio energetico conseguibile in edifici ove vengano impiegate tecnologie di gestione e controllo automatico degli impianti tecnologici e dell'impianto elettrico. La EN15232 fa riferimento e completa tutta una serie di norme che in modo specifico, per ogni singola tipologia di impianto, definiscono un metodo di calcolo analitico per determinare il risparmio energetico. Tali norme appartengono alle serie EN15000 e EN12000 e contemplano i seguenti tipi di impianti:

- Riscaldamento (BACS/HBES)
- Raffrescamento (BACS/HBES)
- Ventilazione e condizionamento (BACS/HBES)
- Produzione di acqua calda (BACS/HBES)
- Illuminazione (BACS/HBES)
- Controllo schermature solari (tapparelle e luce ambiente) (BACS/HBES)
- Centralizzazione e controllo integrato delle diverse applicazioni (TBM)
- Diagnostica (TBM)
- Rilevamento consumi / miglioramento dei parametri di automazione (TBM)

La norma EN15232 consente quindi di calcolare il risparmio energetico conseguibile grazie all'uso dei sistemi di gestione e controllo automatico degli impianti BACS, HBES e TBM, ed è utilizzabile sia per la progettazione di nuovi edifici, sia per la verifica di edifici esistenti.

### 2.5.4 Sistemi Konnex (KNX)

Konnex (KNX) è uno standard internazionale per la Building Automation e la Domotica approvato in tutto il mondo, sviluppato da KNX Association sulla base dell'esperienza dei suoi predecessori BatiBUS, EIB ed EHS.



KNX è aperto, coperto da royalty ed indipendente dalla piattaforma, approvato come standard europeo (EN 50090 – EN 13321-1) e mondiale (ISO/IEC 14543).

La programmazione dei dispositivi avviene attraverso un software di indirizzamento e parametrizzazione chiamato Engineering Tool Software (ETS), disponibile attualmente nella versione 5.0.

### 2.5.5 Supervisore Locale (SuViLo)

Un supervisore locale (SuViLo) è costituito da un'apparecchiatura hardware capace di comunicare in modo diretto con il sistema HBES in protocollo KNX del quale sistema ne costituisce un nodo.

Il supervisore inoltre è capace di comunicare con altri standard diffusi nei sistemi HBA (Modbus per esempio) e con il protocollo TCP-IP attraverso il quale è possibile collegarlo al router locale per il collegamento ad internet.

Il supervisore svolge una serie di importanti funzioni:

- 1) Implementa un'interfaccia grafica di gestione (supervisione e telecontrollo) tramite dispositivi mobili quali smartphone e tablet
- 2) Integra il sistema Konnex ad altri sottosistemi (quale ad esempio Modbus, M.Bus, Z-Wave, DALI, allarmi, videosorveglianza, ecc.) per una piena interoperabilità ed integrazione tra tutti i sottosistemi presenti
- 3) Collega il sistema HBES (Konnex e da altri protocolli) ad internet attraverso il Router per la remotizzazione della gestione
- 4) Consente la programmazione di funzioni complesse sul sistema Konnex e sugli altri sottosistemi

L'installazione di un supervisore locale quindi consente di realizzare un'interfaccia uomo/impianto unica, semplice, affidabile e remotizzabile, integrando tutti i sottosistemi presenti nell'appartamento: termoregolazione, luci, controllo carichi, allarmi, metering, antincendio, allarmi, videosorveglianza, videocitofono, ecc. ecc.

La presenza di un supervisore locale consente di realizzare un'interfaccia uomo/impianto (HSI) su dispositivi mobile di uso comune. L'interfaccia è integrata, unica, semplice, affidabile e remotizzabile.  
Consente inoltre di remotizzare la gestione degli impianti e delle macchine presenti nell'appartamento.

Il supervisione locale è basato su un'architettura del tipo client-server. La sezione dal lato server consiste in un dispositivo che rappresenta l'unità logica del sistema e permette il controllo di tutti i dispositivi ad esso connessi.

La componente client consiste nei PC, touch screen, tablet e smartphone, connessi alla rete LAN via cavo (Ethernet) o WiFi; questi dispositivi comunicano tramite il software del supervisore con il server per controllare l'impianto.

Il supervisore costituisce un arricchimento importante dell'impianto domotico della singola unità.

### 2.5.6 Sistemi di supervisione centralizzati

Un supervisore centrale di edificio (SuViCe) è costituito da un'apparecchiatura hardware con elevata capacità di calcolo capace di comunicare in modo diretto con tutti i sistemi HBES e BACS presenti nell'edificio. Di fatto è un server sul quale è allocato un software di gestione SCADA. L'acronimo SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition, cioè "controllo di supervisione e acquisizione dati") indica un sistema software distribuito per il monitoraggio elettronico di sistemi fisici.

La parte del sistema SCADA che gestisce i sistemi energetici ai fini di una loro ottimizzazione prestazionale è definita BEMS.

Il sistema SCADA costituisce anche l'interfaccia uomo impianto (human machine interface) HMI.

La crescente domanda di soluzioni potenti ed aperte per il settore della Building Automation e della Domotica ha portato una serie di aziende leader nel settore dei sistemi SCADA industriali a creare una speciale edizione di prodotto per il settore BEMS.

Una soluzione interessante e potente è quella offerta da Progea chiamata Movicon Building Automation BA.

Movicon BA è un sistema di supervisione di edifici potente, aperto e scalabile. La tecnologia della piattaforma MoviconBA è completamente basata sullo standard XML. In un'unica visualizzazione si possono integrare il bus di controllo, le luci, il sistema di riscaldamento e condizionamento, i sistemi di sicurezza, la videosorveglianza, i sistemi di risparmio energetico ed ogni altro dispositivo comunemente utilizzato in ambito di gestione degli edifici. Collega ed integra EIB/Konnex, LON, BACNet, centrali quali Notifier, Elkron e altre, sistemi bus con interfaccia Modbus RTU o TCP e tanti altri sistemi, TVCC e VideoCamere IP.

Si accede tramite C, tablet o browser.

## 2.6 Sistemi di metering distribuiti

La Direttiva 2012/27/EC definisce un sistema di *smart metering* come un "sistema elettronico in grado di misurare il consumo di energia, fornendo maggiori informazioni rispetto ad un dispositivo convenzionale, e di trasmettere e ricevere dati utilizzando una forma di comunicazione elettronica".

Attualmente, i sistemi di *metering* stanno evolvendo sempre più in sistemi di *smart metering* di tipo distribuito. Un sistema di *smart metering* distribuito consiste in un'architettura di *meter* installati nell'impianto elettrico a vari livelli di distribuzione (punto di consegna, quadro principale, quadri secondari, singolo circuito o carico).

E' opportuno procedere ad una distinzione dei termini *metering* e *monitoraggio*:

Per *metering* si può intendere la registrazione e/o integrazione continua di grandezze misurate in funzione del tempo. La registrazione e/o l'integrazione può essere svolta su misure di potenza elettrica, portate di fluidi, volumi di produzione, temperature (gradi giorno), etc.

Per *monitoraggio* si intende l'osservazione in continuo e valutazione di grandezze e segnali con l'obiettivo di caratterizzare il funzionamento di un sistema.

E' evidente quindi che un sistema di monitoraggio comprende più funzionalità rispetto ad un sistema di metering inglobando aspetti di archiviazione ed elaborazione dati.

L'architettura più comune di un sistema di *smart metering* distribuito è composta da:

- Dispositivi *smart meter* (sistemi di misurazione elettronici locali)
- *Data concentrator* (dispositivi di elaborazione di dati da diversi meter)
- Protocolli di comunicazione (che consentono la comunicazione bidirezionale tra gli smart meter e i data concentrator, su *local* o *wide area network*)
- Sistema di monitoraggio (piattaforma IT in cui un programma acquisisce ed elabora i vari dati)

Il monitoraggio e la misura dei consumi energetici elettrici e di combustibile (*smart metering*) consente di avere coscienza degli effettivi impieghi di elettricità e di gas non solo a livello di contatore generale ma anche correlati ai vari utilizzi e alle diverse aree dell'edificio.

Il ruolo centrale degli Smart Meters ha spinto l'Unione Europea a regolamentare la materia attraverso la Direttiva MID (Metrological Instruments Directive), recepita in Italia con il Decreto Legislativo n.22 del 2007. La Direttiva ha come obiettivo la certificazione MID che armonizza le normative presenti nei singoli Paesi membri e regola in maniera univoca le caratteristiche della strumentazione destinata alla misura ufficiale di grandezze diverse. La Direttiva definisce i requisiti ai quali i dispositivi e i sistemi debbono conformarsi per potere essere commercializzati e messi in servizio per le funzioni di misura.

Generalmente, un sistema di *smart metering* si basa su contatori di energia e apparecchi di misura intelligenti, una rete di comunicazione e infine un microcontrollore per la supervisione dell'intero sistema. L'insieme degli smart meters, dell'intera rete di comunicazione e del data management formano il

cosiddetto AMI (Advanced Metering Infrastructure). Tramite tale infrastruttura, il meter è connesso al fornitore e potrebbe essere connesso alle applicazioni domestiche tramite HAN (Home Area Network).

Si possono identificare due tipologie di Smart Meter, secondo il loro livello di connettività e automazione:

- AMR (Automated Meter Reading). Prevede uno scambio di dati unidirezionali tra il contatore e la rete locale (livello minimo di automazione)
- AMM (Automated Meter Management). Ammette uno scambio bidirezionale di informazioni tra il punto di misura e la rete locale, permettendo una più ampia gamma di funzioni. Un'ulteriore evoluzione di questo strumento è l'interval meter che permette la registrazione di dati nel periodo, per la comunicazione del consumo consuntivo.

A livello Europeo è attivo un gruppo di studio congiunto CEN-CENELEC per la messa a punto di una norma sui sistemi di misura e monitoraggio distribuiti. A livello nazionale è in fase di elaborazione da parte del CT315 del CEI una guida sui sistemi di misura distribuita.

Il piano di misura e monitoraggio è il documento che definisce scopi ed obiettivi, procedimenti e metodi di misura, validazione, presentazione e archiviazione dei dati, modalità di calcolo e il formato della documentazione da redigere a dimostrazione del miglioramento della prestazione energetica conseguita.

Nei sistemi di misura e monitoraggio, giocano quindi un ruolo chiave:

- tipo dei misuratori,
- distribuzione dei misuratori,
- presentazione e visualizzazione dei dati,
- archiviazione dei dati.

La norma CEI 64-8/8.1 di recente emanazione definisce alcuni aspetti relativi all'efficienza energetica degli impianti elettrici con particolare attenzione alla misura e monitoraggio, introducendo il concetto di "maglia".

La norma definisce come maglia "il gruppo di apparecchiature elettriche alimentate da uno o più circuiti dell'impianto elettrico per una o più zone comprendenti uno o più servizi ai fini dell'efficienza energetica".

Il processo di misurazione si può suddividere nelle seguenti fasi: raccolta dati, trasmissione, archivio ed elaborazione, visualizzazione, analisi.

Il primo passo in un processo di metering è la raccolta dei dati. I dati vengono rilevati tramite dispositivi di misura, che possono essere permanenti o temporanei, in funzione degli obiettivi del sistema di misura. Le soluzioni temporanee di tipo portatile sono disponibile in forma di 'clip-on-device'; non sono invasive, sono utili per siti che richiedono accesso rapido ai dati per un'analisi iniziale, facili da utilizzare e più economiche rispetto ai dispositivi permanenti, tuttavia danno misure meno accurate.

Una volta che la lettura è stata effettuata, i dati devono essere trasmessi ad un punto centrale dove vengono archiviati e analizzati. La trasmissione avviene sia attraverso una connessione diretta tra i dispositivi di misura e il server, sia tramite data logger.

L'informazione deve poi essere registrata da un dispositivo di archiviazione prima di poter essere analizzata. Tale dispositivo può essere un data logger, un server centrale o un BMS. Un Data logger riceve e archivia dati provenienti da più dispositivi di misura; ha uno o più canali di ingresso, ciascuno in grado di essere collegato ad un dispositivo di misura per raccogliere uscite ad impulsi. Un server centrale, d'altro canto, può ricevere i dati sia attraverso i data logger sia direttamente dai contatori (purché siano dotati di capacità AMR). Il BMS, infine, può essere utilizzato alla stregua di un server centrale per memorizzare i dati di misura acquisiti. Con tale soluzione si possono ottenere significativi risparmi, dal momento che l'infrastruttura di comunicazione e archiviazione dati è già presente; tuttavia, occorre tener presente che il BMS potrebbe non essere progettato per la continua acquisizione di dati da più dispositivi di misura.

Infine, per poter utilizzare i dati raccolti, è necessario visualizzarli per poterli analizzare. Le modalità di lettura possono essere e.g. display grafici per lettura locale, connessione a data logger, connessione a rete per trasmissione dei dati a EMS o BMS per successiva elaborazione. A tal fine i dispositivi devono essere dotati di uscite per comunicazione di tipo ad impulsi, RS-232/485, Fibra ottica, Wireless, Ethernet TCP/IP, Modbus, BACnet, KNX, etc.

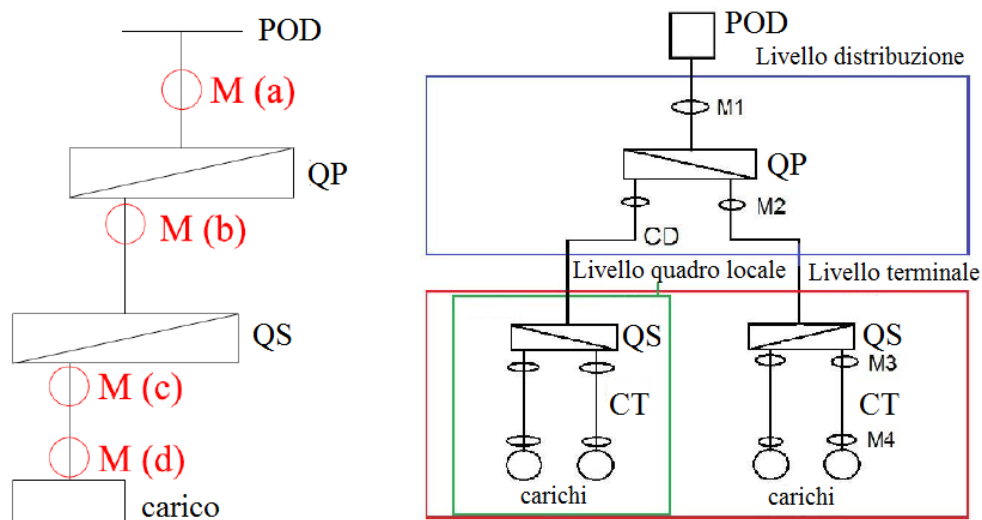
Ai fini del presente lavoro, l'ambito di maggiore interesse è quello degli strumenti di misura per l'elettricità, a cui corrisponde anche il mercato più sviluppato e avanzato. Esiste una vasta gamma di dispositivi, da

quelli più elementari – che indicano solo l’energia in kWh – a quelli più sofisticati che consentono di analizzare anche la qualità dell’alimentazione. I principali tipi di dispositivi di metering dell’energia elettrica sono illustrati in Tabella 5.

**Tabella 5. Dispositivi di misura** [Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.].

Nella scelta dei dispositivi di misura si devono valutare l’accuratezza, il costo, la funzionalità, la sicurezza, l’integrazione in strutture già esistenti etc.

I vari possibili livelli di installazione di dispositivi di metering sono schematizzati in Figura 20.



**Figura 20. Sinistra: possibili installazioni di un dispositivo di metering: punto di connessione (POD, a), quadro principale (QP, b), quadro secondario (QS, c), circuito di alimentazione carichi (d). Destra: livelli di estensione di un dispositivo di metering (con CD circuiti di distribuzione, CT circuiti terminali).**

Un dispositivo di metering del calore è costituito da tre elementi: sensore di portata, coppia di sensori di temperatura e unità di calcolo. Il sensore di portata può essere volumetrico (a turbina), elettromagnetico o

statico (a ultrasuoni) (Tabella 6). I sensori di temperatura sono due sonde di temperatura installate sulla tubazione di andata e di ritorno. L'unità di calcolo elabora i segnali dai sensori e calcola il calore in kWh, può essere installata sul sensore di portata o a parete nei pressi.

**Tabella 6. Tipologie di sensori di portata**

Tipi di sensori	Metodo di funzionamento	Pressione e temperatura	Qualità dell'acqua	Portata-problematiche	Costo
Turbina	Inline turbine	Alta perdita di pressione/può avere una temp. massima di funzionamento	Le parti rotanti sono a rischio se l'acqua è sporca, il blocco può influenzare l'accuratezza	Non molto accurati per basse portate	Basso
Elettromagnetico	Senza parti in movimento in acqua. Pericolo di interferenze di segnale	Perdite di pressione basse	Non è sensibile alla qualità dell'acqua o alla cavitazione	Può gestire la variazione della portata	Alto
Ultrasuoni	Senza parti in movimento in acqua, alcuni (con trasmettitore e ricevitore alle estremità del tubo) possono gestire bene piccole portate	Perdite di pressione basse, hanno bisogno di un minimo sistema di pressione per funzionare	Possono essere sensibili a bolle d'aria/cavitazione	Buona gestione delle portate variabili, non richiede tubi 'dritti'	Alto

La contabilizzazione del calore è la misurazione del calore per riscaldamento o raffrescamento dei locali o per l'acqua calda sanitaria. La contabilizzazione può essere diretta o indiretta.

La contabilizzazione diretta:

- è usata per impianti a zone (distribuzione orizzontale), di solito in edifici di nuova costruzione
- si basa sulla misura della differenza di entalpia del fluido termovettore fra ingresso e uscita del circuito utilizzatore
- il misuratore rileva la portata del fluido e la differenza di temperatura tra sonda di mandata e quella di ritorno; l'unità di calcolo del dispositivo esegue il calcolo del calore

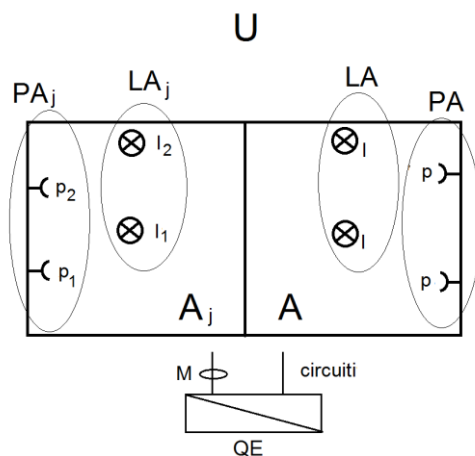
La contabilizzazione indiretta invece:

- è usata per impianti a colonne montante (distribuzione verticale), in edifici vecchi
- si basa sulla valutazione dell'energia prelevata dall'utenza, mediante la misura di parametri di proporzionalità con l'emissione termica (temperatura superficiale del corpo scaldante e temperatura ambiente), nota la potenza termica nominale del corpo scaldante
- avviene radiatore per radiatore, applicando un ripartitore di calore in grado di rilevare la quantità di calore
- per risparmio energetico, necessita l'installazione di valvole termostatiche sui radiatori

Per poter valutare la prestazione di un sistema di metering distribuito, e quindi poter progettare sistemi di metering dalle prestazioni sempre migliori e sempre più adatti al conseguimento degli obiettivi di efficienza, sono stati sviluppati dei modelli di classificazione.

Tali modelli consentono di esprimere una valutazione quantitativa sia sul singolo dispositivo di metering sia sul sistema nel complesso.

In Figura 21 si riportano schematicamente le definizioni utili per la classificazione di un sistema di metering distribuito.



**Figura 21. Schema di definizioni per un DSM: U unità o edificio, p prese a spina, I apparecchi illuminanti, P servizio prese, L servizio illuminazione, A area, PA e LA servizi prese e illuminazione per ciascuna area, QE quadro elettrico, M dispositivo di metering**

Alcuni modelli sono stati proposti in un'attività di ricerca svolta nel 2015 tra Enea e Sapienza dal titolo "Strumenti per favorire la valutazione dei sistemi di building automation negli edifici residenziali e definizione di indici di efficienza anche in presenza di sistemi di generazione locale con accumulo".

Tali modelli sono:

- *Modello tabellare*, in cui la valutazione è basata su caratteristiche tabellate;
- *Modello numerico (OPI)*, in cui la valutazione è basata su un metodo di calcolo in grado di fornire un indicatore numerico prestazionale complessivo (*overall performance index*);
- *Modello per servizi d'area*, in cui la valutazione è basata su un metodo di calcolo in grado di fornire indicatori numerici per i singoli misuratori, in base alla definizione di servizi d'area, e un indicatore numerico prestazionale complessivo.

Tali modelli consentono di ottenere una valutazione numerica, in termini di indicatori numerici parziali oppure complessivi, sia in riferimento alle prestazioni del singolo dispositivo di misura, sia in riferimento alle prestazioni del sistema di metering come complesso di molteplici dispositivi ognuno con diverse prestazioni e diverso peso nel sistema. Attraverso tali modelli è possibile comparare sistemi di metering diversi applicati al medesimo edificio e quindi mettere a confronto versioni migliorate dello stesso sistema di metering.

In primo luogo, è necessario valutare la prestazione del singolo dispositivo di metering in riferimento a ciascuna caratteristica, e.g.:

- Localizzazione (presso il punto di consegna, in quadro principale, in quadro secondario, sui carichi)
- Misure (monitoraggio, gestione, analisi della qualità)
- Architettura (stand-alone, interconnesso in un network, integrato in un BMS esistente)
- Visualizzazione (manuale su display, automatica a intervalli di tempo determinati, automatica in tempo reale con rilevazione dell'andamento)
- Servizio (nessuna suddivisione, in base al vettore energetico, in base al tipo di servizio, per raggruppamento di carichi o singolo carico)

Ciò attraverso e.g. il modello tabellare.

In secondo luogo, occorre associare un indicatore prestazionale al dispositivo, tenendo conto delle prestazioni parziali in ogni caratteristica (attraverso e.g. uno dei modelli citati).

Infine, occorre calcolare un indicatore prestazionale globale del sistema di dispositivi, tenendo conto della prestazione di ogni dispositivo ma anche del peso di ogni dispositivo all'interno del sistema (per via della diversa estensione e capillarità della porzione d'impianto sottesa a ogni dispositivo) (sempre attraverso e.g. uno dei modelli citati).

Il documento Fascicule de documentation AFNOR X30-147 «Energy Measurement plan – Design and implementation» propone una classificazione dei sistemi di misura individuando un livello prestazionale basic, medium e high, in funzione delle caratteristiche del sistema valutate mediante una serie di tabelle.

**Tabella 7. Esempio di tabella documento Afnor per la classificazione dei sistemi di misura**

**Table B.1 — Breakdown by zone/use**

Criteria <sup>a</sup>	Levels	Basic	Medium	High
Tracking consumptions by zone		Each tariff meter determines a zone.	Each building is considered a zone and its consumptions are tracked	Each floor or activity zone (workshop, office, etc.) of each building is considered a zone and its consumptions are tracked
Tracking consumptions by use		The predominant uses (at least 2) are tracked	The predominant uses (at least 2) are tracked for each of the tracked zones	The predominant uses (at least 2) are tracked for each of the tracked zones The tracked uses shall represent at least 80% of the consumption.

**Tabella 8. Esempio di tabella documento Afnor per la classificazione dei sistemi di misura in funzione del tipo di lettura dei dati**

**Table B.3 — Consideration of the reading techniques**

Criteria <sup>a</sup>	Levels	Basic	Medium	High
Reading of consumptions		The data are derived from the suppliers' bills	Measurement reading is manual or automatic	Measurement reading is automatic, linked to the level of temporal granularity and zone and/or use
Calculation of energy performance indicators in accordance with ISO 50006 (EnPI, consumption ratio, energy baseline, etc.) according to consumptions		Simple, close to the raw consumption	Simple, close to the raw consumption	Personalized by activity (accounting, energy manager, communication to personnel, etc.)
Frequency of calculation of energy performance indicators		Calculated at the billing frequency, according to zones, uses and tracked influencing factors	Calculated each week according to zones, uses and tracked influencing factors	Calculated each day according to zones, uses and tracked influencing factors

<sup>a</sup> See recommendations given in Annex F, Article F.6 about the quantities to measure.

## 2.7 Sistemi di accumulo elettrico distribuito - Domestic Distributed Energy Storage (DDES)

I sistemi di accumulo elettrico possono svolgere un ruolo interessante nel contesto delle micro grid a servizio degli edifici NZEB.

In questa analisi si prende in considerazione la possibilità di installare sistemi di accumulo elettrico di tipo distribuito basato su macchine del tipo UPQC (Unified Power Quality Conditioner).

Questi dispositivi, adottando opportuni controlli e topologie circuitali, permettono il miglioramento del livello di qualità del singolo carico (o piccoli gruppi) alimentato.

Il sistema di UPQC distribuite sono installate in modalità “derivate” con un inverter di tipo bi direzionale e sono dotate di un'unità di accumulo energetico.

Il cuore del sistema è l'inverter.

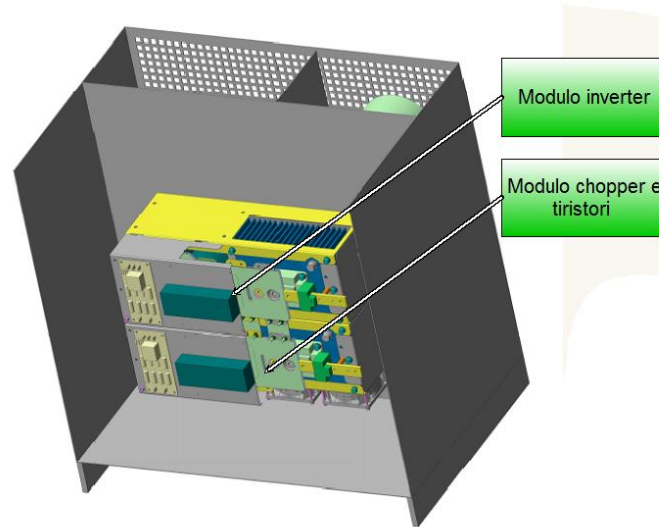
Si è fatto riferimento ad un prototipo realizzato in collaborazione con il Politecnico di Milano ECC chiamato OPEN UPQC.

La Figura 22 rappresenta lo schema dell'inverter con riportati i riferimenti dei principali componenti che costituiscono l'apparato.





In Figura 23 è mostrato il lato anteriore di un possibile lay-out del convertitore locale a due strati.



**Figura 23 – Ipotesi di lay-out a due strati inverter monofase (Vista anteriore)**

La ventilazione dei moduli dell'elettronica è garantita dalla presenza di due ventilatori posti nella parte inferiore dei moduli. Dato che durante il funzionamento normale, con temperatura ambiente non elevata, per il raffreddamento dei semiconduttori è sufficiente la ventilazione naturale, i moduli sono orientati in modo tale da consentire la circolazione dell'aria per moto convettivo.

Solamente durante la scarica della batteria e/o in momenti in cui la temperatura ambiente è elevata potrà essere necessario avviare i due ventilatori.

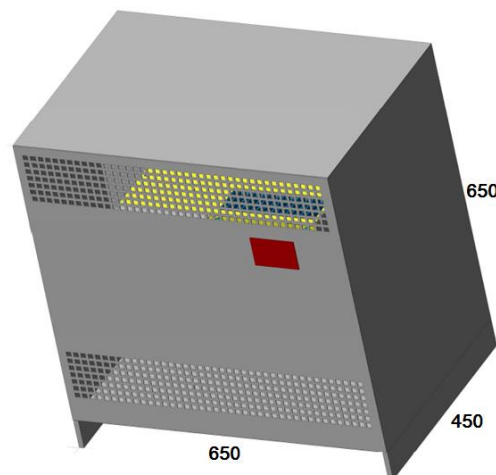
I componenti magnetici del convertitore (induttanze toroidali) sono raggruppate nel vano posteriore dell'apparato.

In particolare l'induttanza di commutazione dell'inverter è posizionata più in basso, mentre quella del chopper è posta immediatamente al di sopra.

Gli induttori, che potenzialmente potrebbero scaldarsi, sono separati da un setto metallico dalle batterie, che, come è noto, sono componenti sensibili al calore.

Al di sopra delle batterie (che sono alloggiare su appositi ripiani) vi è un vano che potrà essere utilizzato per i circuiti di precarica, mentre, nel vano anteriore, saranno previsti gli attestamenti con relativi interruttori.

Le dimensioni di insieme dell'armadio sono riportate in Figura 24.



**Figura 24 – Ingombro in mm del convertitore locale**

Il convertitore può essere accostato al muro avendo l'accortezza di lasciare circa 3-4 cm di distanza allo

scopo di permettere la libera circolazione dell'aria (eventualmente potranno essere previsti appositi distanziali posteriori).

In contesti di edifici residenziali il sistema può essere installato in appositi vani ricavati sui pianerottoli di accesso alle unità abitative.

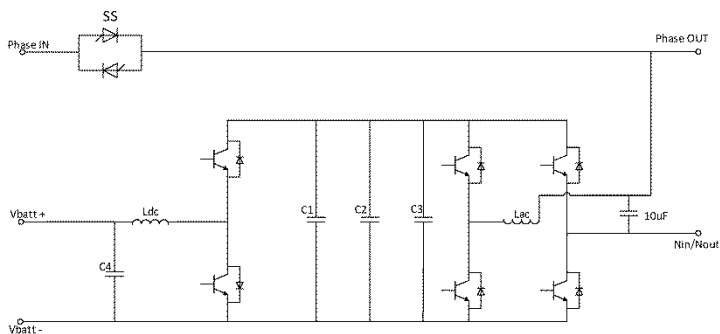
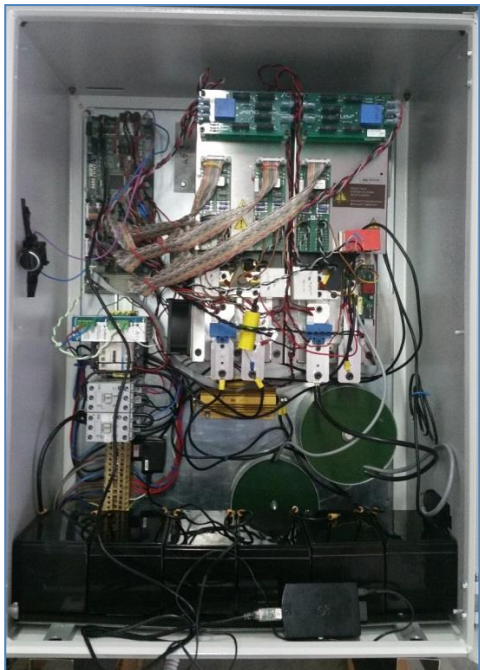


Figura 25 – Schema e lay-out realizzato per il convertitore locale

I principali dati tecnici dell'apparecchiatura realizzata (1 $\phi$  , 3 kVA) sono:

- IGBTs 195A
- Batteria (6\*12V, 12Ah, Sealed Lead-Acid battery)
- Static Switch (75A for continuous operation)
- Inverter DC bus capacitors (three parallel 6800  $\mu$ F)
- DC side switching inductance (1mH, 50 A)
- Ac side switching inductance (1mH, 30 A)
- Inverter Output filter (10  $\mu$ F)

Mentre le principali Funzioni sono:

- Demand Response
- Charge/Discharge batteries
- Peak shaving
- Reactive power generator (enhance series unit performance)
- Supply load in island operation mode
- Harmonic current compensation

Il costo di realizzazione di ogni singola apparecchiatura è di circa 3.000€.

## 2.8 Sperimentazioni

Le varie sperimentazioni esistenti sono note come *passive house*, *edifici verdi*, *case solari*, *edifici sostenibili* etc. Nella *passive house* (casa passiva) la maggior parte del fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento si ottiene ricorrendo a dispositivi passivi, evitando ricorrere a impianti di conversione o vettoriamento dell'energia. Grazie all'architettura dell'edificio, che sfrutta al meglio l'accumulo termico attraverso l'utilizzo di materiali con elevata capacità termica, nel periodo invernale, gli apporti di calore spontanei (irraggiamento solare, dissipazione termica delle apparecchiature elettriche, ecc.) soddisfano gran parte della richiesta di energia per il riscaldamento dell'edificio. A ciò si aggiunge un sistema di ventilazione che recupera il calore dall'aria estratta. In questo modo, una *passive house* consuma, per riscaldamento, circa il 90% di energia in meno di un edificio convenzionale e più del 75% in meno rispetto alla media dei nuovi edifici europei. I progetti pilota hanno dimostrato che i risparmi energetici teoricamente calcolati sono replicabili nella pratica.

Le tecnologie per la realizzazione di NZEB deve essere attentamente declinata per le peculiarità climatiche della località in cui sono ubicati. Sono infatti numerosi gli esempi di cosiddetti *sistemi passivi* che presentano pessime prestazioni o aggravii energetici quando applicati in modo improprio, come accade mutuando tecnologie sviluppate in climi freddi per località in cui l'esigenza di raffrescamento può diventare preponderante.

Un esempio atipico ma rappresentativo dell'ampia possibilità di applicazione delle tecnologie disponibili è il Padiglione Italia a Expo 2015. La struttura è stata concepita come un edificio a energia quasi zero grazie alle prestazioni dell'involucro, alla presenza di fotovoltaico e di pompe geotermiche ad elevata efficienza. Il fabbisogno energetico risultante è modesto e raggiunge  $21.3 \text{ kWh/m}^3$  in estate e  $4.2 \text{ kWh/m}^3$  in inverno. Le principali proprietà dell'involucro edilizio sono:

- Trasmittanza termica molto bassa ( $0,167 - 0,227 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ )
- Bassi valori del fattore di attenuazione ( $< 0,1$ ), con conseguenti elevati valori dello sfasamento ( $> 11,5$  ore)
- Infissi con trasmittanza inferiore a  $1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Sistemi schermanti in grado di ridurre del 70% l'irraggiamento solare massimo sulle superfici trasparenti

Inoltre, la superficie esterna, di area  $9000 \text{ m}^2$ , è costituita da pannelli in cemento con proprietà fotocatalitiche (brevetto da Italcementi) in grado di assorbire alcuni inquinanti presenti nell'aria e trasformarli in sali inerti, contribuendo così a ripulire l'aria circostante.



Figura 26. Expo 2015 padiglione Italia

## 2.9 Quadro normativo

Con l'emanazione del D.L. n.63/2013 "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE" (convertito poi in legge 90/2013), l'Italia ha recepito le disposizioni europee in materia di prestazioni energetiche nell'edilizia, in parte già esposte sopra.

I Decreti attuativi della suddetta legge, tutti datati 26 Giugno 2015, affrontano tutti gli aspetti inerenti l'efficienza energetica: requisiti prestazionali minimi degli edifici, modalità di elaborazione delle relazioni tecniche di progetto, certificazione energetica degli edifici. Essi vanno a definire le nuove modalità di calcolo della prestazione energetica degli edifici ed i nuovi requisiti minimi di efficienza da rispettare, sia per le nuove costruzioni che per le ristrutturazioni.

In particolare vengono definite le nuove linee guida nazionali alla certificazione energetica degli edifici, in vigore dal 1 Ottobre 2015. Novità principale è che la metodologia di calcolo è uguale per tutto il territorio nazionale.

La prestazione energetica dell'immobile è espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile EP<sub>gl,nren</sub> che comprende:

- la climatizzazione invernale (EP<sub>h,nren</sub>)
- la climatizzazione estiva (EP<sub>c,nren</sub>)
- la produzione di acqua calda sanitaria (EP<sub>w,nren</sub>)
- la ventilazione (EP<sub>v,nren</sub>)
- illuminazione artificiale (EP<sub>l,nren</sub>), per gli immobili non residenziali
- il trasporto di persone o cose (EP<sub>t,nren</sub>), per gli immobili non residenziali

L'unità di misura per prestazioni relative ad edifici residenziali è il kWh/m<sup>2</sup> (di superficie netta degli ambienti) anno. Il simbolo utilizzato è EP<sub>gl</sub> (Energia Primaria globale).

La prestazione energetica di un edificio è definita come la quantità annua di energia primaria che si prevede possa essere necessaria per soddisfare, con un uso standard dell'immobile, i vari bisogni energetici dell'edificio per:

- la climatizzazione invernale e estiva;
- la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari;
- la ventilazione;

e, per il solo settore terziario

- l'illuminazione,
- gli impianti ascensori e scale mobili.

Inoltre, tale normativa definisce un Edificio a energia quasi zero, come un edificio che rispetta i valori limite definiti per:

- Trasmittanza termica media dell'involucro disperdente ( $H^*_T$ );
- Superficie trasparente non schermata ( $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ );
- Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento da fonte non rinnovabile EP<sub>H,nd</sub>;
- Fabbisogno di energia primaria per climatizzazione estiva da fonte non rinnovabile EP<sub>C,nd</sub>;
- Fabbisogno di energia primaria globale EP<sub>gl,tot</sub>;
- Efficienza media complessiva dell'impianto di riscaldamento  $\eta_H$ ;
- Efficienza media complessiva dell'impianto acqua calda sanitaria  $\eta_W$ ;
- Efficienza media complessiva dell'impianto di climatizzazione estiva  $\eta_C$ ;

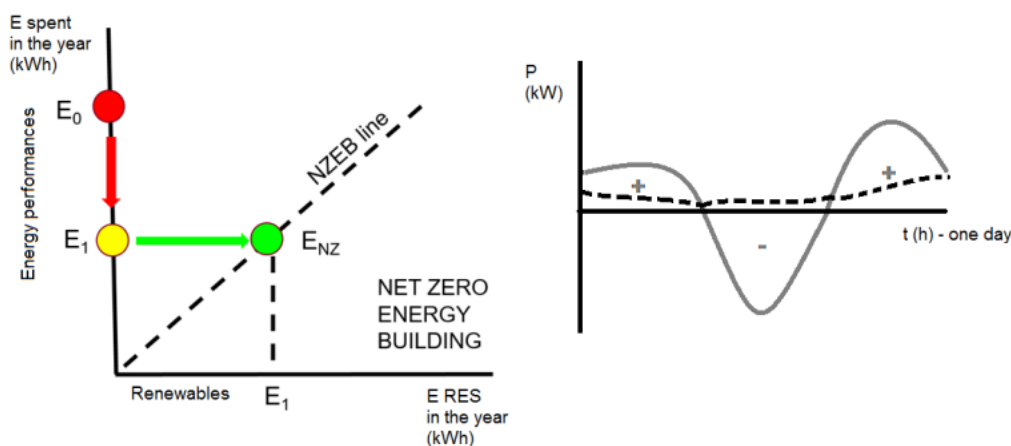
oltre alla copertura del 50% del fabbisogno complessivo di energia per riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento mediante impianti alimentati da fonte rinnovabile, con esclusione di impianti che producano solo energia elettrica successivamente convertita.

## 2.10 Da NZEB a KZEB

La qualifica di NZEB si basa sulla media mensile e annuale di energia primaria e non già sul bilancio istantaneo di potenza, per cui non tiene conto dell'impatto sulle reti tecniche (elettrica e gas). Per tale ragione, potrebbe essere più appropriato introdurre la definizione di edificio a energia "net zero" (zero al netto) in luogo di "nearly zero" (quasi zero). La Figura REF mostra che, in un edificio con qualifica NZEB, il bilancio energetico annuale è pari a zero, tuttavia la potenza istantaneamente scambiata con la rete è, in generale, diversa da zero. Lo scambio di potenza può avvenire nei due sensi e ciò può generare fenomeni caotici nella rete e importanti diseconomie per gli utenti, come evidenziato da studi [XX].

La presente ricerca si pone l'obiettivo di minimizzare lo scambio di potenza con la rete, facendo in modo che la domanda di energia dalla rete sia possibilmente controllata e con verso invariante (consumatore o produttore di energia) per periodi superiori a quelli caratteristici di adeguamento della rete a scala regionale.

Per portare a zero lo scambio di potenza con la rete è possibile avvalersi di strategie di DSM applicate ai carichi controllabili e alle possibilità di accumulo di energia (energy storage) elettrico e termico. In questo modo si può arrivare a un edificio dal comportamento "near zero power" (a potenza quasi zero) e quindi a un edificio "km zero energy building" (KZEB, a energia a chilometri zero).



**Figura 27. In un edificio NZEB il bilancio energetico annuo è nullo (sinistra) ma la potenza istantaneamente scambiata con la rete di distribuzione in generale non è uguale a zero (destra, linea continua).**

L'approccio proposto consiste nell'integrazione di TBS in un edificio di tipo terziario o residenziale, in riferimento all'interazione energetica e all'ottimizzazione della gestione dei flussi di energia. In questo modo, l'edificio può essere considerato un soggetto che interagisce con la rete di distribuzione (elettrica e del gas naturale), potenziando le sue prestazioni in termini di efficienza energetica e costo. In tale approccio, il DSM della domanda di energia elettrica può avere un grande impatto rispetto alla rete, specialmente tenendo in considerazione la presenza di carichi gestibili, come gli elettrodomestici (ad es. lavatrici) e i sistemi di condizionamento, che possono essere sfruttati come sistemi di accumulo di energia. Un BEMS avanzato può migliorare il comportamento energetico dell'edificio, in modo tale da promuovere la qualifica da NZEB a KZEB, con molteplici vantaggi:

- risparmio economico e maggiore conform per gli utenti
- profilo di carico controllato e minore impatto per il distributore.

### 2.10.1 Edificio gas-free

L'architettura proposta per il TBS è *gas-free*, in cui tutti i sistemi sono alimentati elettricamente, inclusa la produzione di calore per riscaldamento, acqua calda sanitaria (attraverso un sistema a pompa di calore) e cucina (tramite fornelli a induzione).

### 2.10.2 Generazione locale

Nell'architettura proposta, la generazione locale è data da un sistema fotovoltaico, mentre il riscaldamento localizzato è dovuto a un sistema geotermico accoppiato a pompe di calore. le pompe di calore geotermiche consentono un consumo di energia di gran lunga inferiore rispetto ai sistemi di riscaldamento tradizionali, in quanto sfruttano il terreno come sorgente di calore gratuita.

### 2.11 Da NZEB a "zero emission building" (ZEB)

L'uso di un modello completamente elettrico, privo di riscaldamento centralizzato a gas e di cogenerazione, rende l'edificio un edificio a emissioni zero o "zero emission building" (ZEB). Un altro vantaggio importante è la possibilità di implementare un BEMS avanzato, con un impatto rilevante sul DSM elettrico, come schematizzato in Figura REF. In tale figura si illustrano le possibilità di evoluzione di un edificio fino alla qualifica di ZEB.

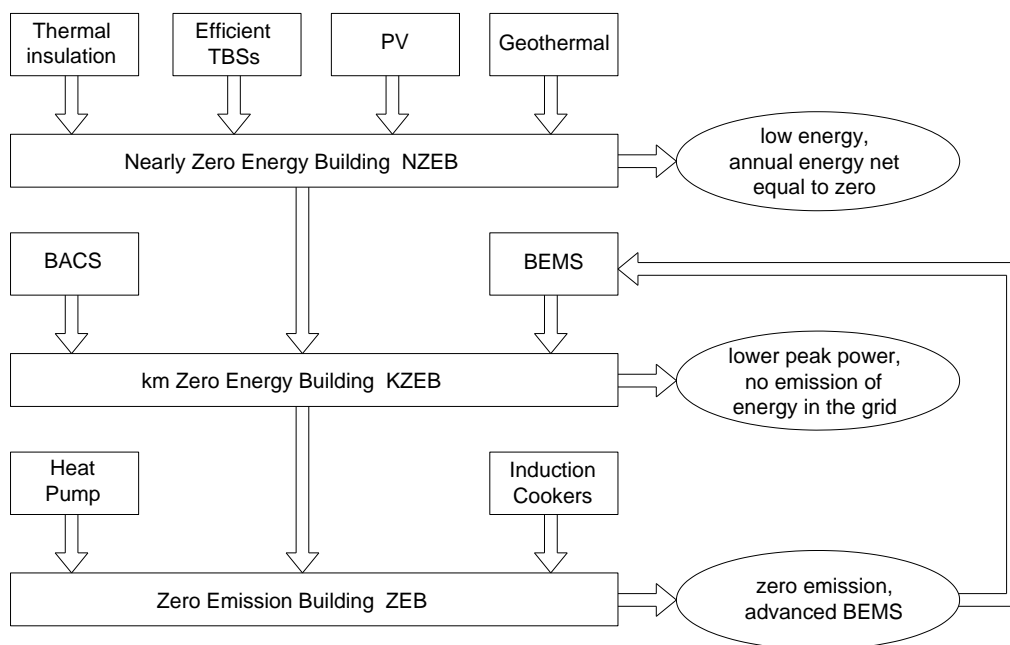


Figura 28. Schema di evoluzione da NZEB a ZEB

### 3 Architetture d'impianto

#### 3.1 Generalità: SMDU e MURB

Gli edifici di tipo residenziale-terziario-commerciale possono essere suddivisi in:

- edificio a singola unità (case unifamiliari, case a schiera, complessi immobiliari) – *single and multi dwelling units (SMDU)*;
- edificio multi unità - *Multi Unit Residential Building (MURB)*.

Come riferimento per il presente lavoro si è fatto riferimento ad un edificio MURB multi unità a prevalente destinazione abitativa, costituito dal palazzo/condominio con unità immobiliari (appartamenti, uffici e negozi) dislocate verticalmente su più piani, e con servizi comuni di connettività e parcheggi.

Sono gli edifici tipici delle nuove realizzazioni all'interno delle città e dei grandi centri urbani.

Gli edifici considerati sono quelli multi unità a prevalente destinazione abitativa chiamati *MURB*, costituiti dal palazzo/condominio con unità immobiliari (appartamenti, uffici e negozi) dislocate verticalmente su più piani, e con servizi comuni di connettività e parcheggi.

Un edificio di tipo residenziale-terziario-commerciale multi unità è dotato di una serie di servizi tecnici garantiti da impianti tecnici energivori definiti nei capitoli precedenti.

In un edificio NZEB si possono suddividere:

- gli impianti tecnici di servizio alle singole unità (residenziali, terziarie e commerciali),
- gli impianti tecnici condominiali.

Gli impianti tecnici sono alimentati da utenze energetiche (tipicamente elettriche e gas, e a volte teleriscaldamento) che corrispondono ai punti di fornitura/allaccio con le reti pubbliche di distribuzione.

Si possono individuare due tipologie di allaccio alle reti pubbliche come riportato nella tabella seguente.

**Tabella 11. Tipologie di punti di allaccio**

Punti di allaccio indipendenti per ogni unità	I
Punto di allaccio comune per l'edificio	C

Nel presente modello gli impianti tecnici energivori sono classificati come nella tabella seguente, nella quale sono evidenziate le possibili alimentazioni energetiche.

**Tabella 12. Impianti tecnici a servizio degli NZEB e possibili alimentazioni (C indica una fornitura centralizzata, I indica una fornitura indipendente per unità)**

TBS	Sigla	Elettrico	Gas	Telerisc.
riscaldamento invernale	H	X (C,I)	X (C,I)	X (C)
climatizzazione estiva	AC	X (C,I)	X (C)	X (C)
ventilazione meccanica	V	X (C,I)		
acqua calda sanitario	DHW	X (C,I)	X (C,I)	X (C)
cottura cibi	CK	X (C,I)	X (I)	
illuminazione	L	X (C,I)		
Lavaggi stoviglie	DW	X (C,I)		
Lavaggi panni	WM	X (C,I)		
Servizio prese, impianti elettrici	IE	X (C,I)		
Impianti elettrici speciali e elettronici	HBES	X (C,I)		
Impianti di comunicazione (nota)	ICT	X (C,I)		
Ascensori, impianti di servizio di edificio	AS	X (C)		

Nota. Per impianti di comunicazione (ICT) si intende quei sistemi ed apparecchiature, inclusi gli elementi di rete non attivi, che consentono di trasmettere segnali via cavo, via radio, a mezzo fibre ottiche e con altri mezzi elettromagnetici. Sono esclusi da questa famiglia gli impianti per l'automazione integrata dei servizi di edificio (domotica e building automation) che ricadono nella famiglia degli impianti elettrici speciali e elettronici (HBES).

### 3.2 Indicazioni utili per il predimensionamento di massima

Ai fini del predimensionamento di massima degli impianti presenti all'interno di un edificio multi familiare, si possono introdurre i concetti statistici e qualitativi di:

KE (kW elettrici equivalenti), per il collegamento alla rete pubblica elettrica, rappresentano in modo statistico e qualitativo, il fabbisogno di potenza elettrica di cui un edificio, nel tempo, potrà verosimilmente necessitare.

KT (kW elettrici equivalenti per il carico termico), rappresentano in modo statistico e qualitativo, il fabbisogno di potenza elettrica termica che potrà verosimilmente essere richiesta da un edificio. Da sommare ai KE in caso di impianti alimentati con elettricità, in alternativa al KF di cui sotto (il maggiore dei due), oppure per il predimensionamento del collegamento alla rete pubblica del gas o di teleriscaldamento.

KF (kW elettrici equivalenti per il carico frigorifero), rappresentano in modo statistico e qualitativo, il fabbisogno di potenza frigorifera che potrà verosimilmente essere richiesta da un edificio. Da sommare ai KE, alternativa al KC di cui sopra (il maggiore dei due), oppure per il predimensionamento del collegamento alla rete pubblica di teleraffrescamento o del gas in caso di pompe di calore ad assorbimento a fiamma diretta.

FE (Fibre equivalenti), per il collegamento alle reti pubbliche ICT, rappresentano in modo statistico il fabbisogno del numero di fibre ottiche di cui un determinato edificio, nel tempo, potrà verosimilmente necessitare.

**Tabella 13. Fibre equivalenti, kW elettrici equivalenti e kW termici equivalenti per vari tipi di unità immobiliare**

Unità immobiliare		FE [numero fibre]	KE [kW]	KT edificio tradizionale [kW]	KT NZEB [kW]	KF edificio tradizionale [kW]	KF NZEB [kW]
Residenziale	$S < 75 \text{ m}^2$		3	2,5	0,5	1,5	0,2
	$75 \text{ m}^2 < S < 150 \text{ m}^2$	1/2	4,5	5	1	3	0,4
	$S > 150 \text{ m}^2$		6	10	2,5	5,5	1
Commerciale	$S < 100 \text{ m}^2$		6	2,5	0,5	5,5	1
	100 $\text{m}^2 < S < 200 \text{ m}^2$	4	10	5	1,5	11	2,5
	$S > 200 \text{ m}^2$		30*	10	2,5	22	5
Terziario: uffici, studi tecnici	$S < 100 \text{ m}^2$		4,5	3,5	1	4	1
	100 $\text{m}^2 < S < 200 \text{ m}^2$	12	6	7	1,5	8,5	2
	$S > 200 \text{ m}^2$		10	14	3	17	3,5
Terziario: uffici aperti al pubblico di particolare rilievo e dimensione e della pubblica amministrazione	$S < 200 \text{ m}^2$		10	5	1	6,5	1,5
	200 $\text{m}^2 < S < 400 \text{ m}^2$	24	20	14	3	19	4,5
	$S > 400 \text{ m}^2$		30*	24	4,5	31	7,5
Utenze condominiali	$S < 400 \text{ m}^2$		4,5				
	400 $\text{m}^2 < S < 800 \text{ m}^2$	1	10				
	$S > 800 \text{ m}^2$		15*				

Note. \* Il fabbisogno dipende dalle dimensioni. ° Superficie in pianta della copertura dell'edificio. I parametri KT e KF dipendono dalle dimensioni oltre a numerosi altri fattori, tra cui le caratteristiche climatiche della località. I parametri riportati in tabella sono riferiti a Roma (zona climatica D)



Nella valutazione dei valori aggregati di fabbisogno elettrico e termico occorre considerare opportuni coefficienti di contemporaneità che dipendono dal numero di unità immobiliari dell'edificio.  
Per la valutazione energetica dei fabbisogni elettrico e termico occorre stimare il numero di ore equivalenti di impiego della potenza.

**Tabella 14. Coefficiente di contemporaneità e ore equivalenti per fabbisogno elettrico e termico**

	Coefficiente di contemporaneità [p.u.]	Ore equivalenti annue [ore]
Elettrico	0,3	1500
Termico residenziale	0,6	900
Termico commerciale	0,6	300
Termico terziario	0,6	350
Frigorifero residenziale	0,3	300
Frigorifero commerciale	0,6	1250
Frigorifero terziario	0,6	900

Il fabbisogno in potenza dell'edificio è stimabile tramite:

$$P = cc_E (\sum KE_{R,r} + \sum KE_{T,t} + \sum KE_{C,c} + KE_E) [\text{kW}]$$

Dove:

P è il fabbisogno in potenza dell'edificio

$KE_{R,r}$  è il fabbisogno dell'unità residenziale r esima

$KE_{T,t}$  è il fabbisogno dell'unità terziaria t esima

$KE_{C,c}$  è il fabbisogno dell'unità commerciale c esima

$KE_E$  è il fabbisogno condominiale di edificio

$cc_E$  è il coefficiente di contemporaneità elettrico

Il fabbisogno energetico annuale dell'edificio è stimabile tramite:

$$E = P \cdot t_E [\text{kWh}]$$

Dove

$t_E$  è il numero di ore equivalenti per le utenze elettriche.

Nel caso di uso dell'energia elettrica per i fabbisogni termici e frigoriferi il fabbisogno in potenza dell'edificio è stimabile tramite::

$$P = cc_E (\sum KE_{R,r} + \sum KE_{T,t} + \sum KE_{C,c} + KE_E) + cc_R \sum KT_{R,r} + cc_{F,T} \sum KF_{T,t} + cc_{F,C} \sum KF_{C,c} [\text{kW}]$$

Dove:

$KT_{R,r}$  è il fabbisogno dell'unità residenziale r esima per usi termici

$KF_{T,t}$  è il fabbisogno dell'unità terziaria t esima per usi frigoriferi

$KF_{C,c}$  è il fabbisogno dell'unità commerciale c esima per usi frigoriferi

$cc_R$  è il coefficiente di contemporaneità per usi termici

$cc_{F,T}$  è il coefficiente di contemporaneità per usi frigoriferi delle unità terziarie

$cc_{F,C}$  è il coefficiente di contemporaneità per usi frigoriferi delle unità commerciali

Il fabbisogno energetico annuale dell'edificio è stimabile tramite:

$$E = t_E \cdot cc_E (\sum KE_{R,r} + \sum KE_{T,t} + \sum KE_{C,c} + KE_E) + cc_T (t_{T,R} \sum KT_{R,r} + t_{T,T} \sum KT_{T,t} + t_{T,C} \sum KT_{C,c}) + t_{F,R} \cdot cc_{F,R} \sum KF_{R,r} + t_{F,T} \cdot cc_{F,T} \sum KF_{T,t} + t_{F,C} \cdot cc_{F,C} \sum KF_{C,c} [\text{kWh}]$$

Dove:

$KT_{T,t}$  è il fabbisogno dell'unità terziaria t esima per usi termici

$KT_{C,c}$  è il fabbisogno dell'unità commerciale c esima per usi termici

$KF_{R,r}$  è il fabbisogno dell'unità residenziale  $r$  esima per usi frigoriferi  
 $cc_{F,R}$  è il coefficiente di contemporaneità per usi frigoriferi delle unità residenziali  
 $t_{T,R}$  è il numero di ore equivalenti per le utenze termiche delle unità residenziali  
 $t_{T,T}$  è il numero di ore equivalenti per le utenze termiche delle unità terziarie  
 $t_{T,C}$  è il numero di ore equivalenti per le utenze termiche delle unità commerciali  
 $t_{F,R}$  è il numero di ore equivalenti per le utenze frigorifere delle unità residenziali  
 $t_{F,T}$  è il numero di ore equivalenti per le utenze frigorifere delle unità terziarie  
 $t_{F,C}$  è il numero di ore equivalenti per le utenze frigorifere delle unità commerciali

### 3.3 Architetture di reti tradizionali per edifici multi unità

Gli edifici multi unità a distribuzione verticale, *Multi Unit Residential Building (MURB)*, sono dotati di infrastrutture multi servizio secondo le normative tecniche vigenti, in base alla tipologia edilizia e alle combinazioni scala/edificio.

Nella tabella seguente è riportato l'esempio di dimensionamento di infrastruttura impiantistica per servizi TV e telefono/dati in funzione del numero dei piani e delle unità immobiliari per piano [Guida CEI 64-100/1].

**Tabella 15. Esempio di dimensionamento delle tubazioni per servizi Tv e telefono/dati**

Esempio di dimensionamento (in mm) di tubazioni e cassette in funzione del numero di piani e delle unità immobiliari						
N° piani	N° unità immobiliari per piano	N. tubi per montante (1)		Diametro tubi	N° SDI per piano (1)	Dimensioni minime interne consigliate per le SDI
		TV	Telefono/dati			
2	2	3	2	40	2	400 x 215 x 65
2	4	3	2	40	2	400 x 215 x 65
4	2	3	2	40	2	400 x 215 x 65
4	4	4	2	40	2	400 x 215 x 65
6	2	4	2	40	2	400 x 215 x 65
6	4	3	2	40	2	400 x 215 x 65

(1) Il numero dei tubi e di SDI indicato tiene presente i fabbisogni sia dei segnali via radio sia dei segnali provenienti dal sottosuolo (rame e fibra ottica)

Per quanto riguarda gli impianti elettrici, elettronici e di comunicazione, le vigenti normative richiedono la realizzazione di infrastrutture con predisposizione di spazi installativi adeguati. Tali infrastrutture consistono nei montanti principali tra i piani, nelle tratte di piano tra i montanti e unità immobiliari e nei locali tecnici da cui si dipartono i montanti. I montanti raggiungono le coperture dove sono ubicati eventuali apparati attivi.

All'interno di tali infrastrutture/canali multi servizi sono installati i sistemi elettrici, elettronici e di comunicazione.

Gli impianti meccanici (HVAC e DHW) sono prevalentemente centralizzati con distribuzione per singole unità con contabilizzazione (smart metering) nel punto di connessione alla porzione d'impianto interna. I sistemi di ventilazione possono essere autonomi per singola unità o, per le unità residenziali, per singolo ambiente, in modo da eliminare/ridurre l'ingombro delle canalizzazioni di distribuzione dell'aria. La distribuzione nelle porzioni comuni è prevalentemente verticale, suddivisa su una o più montanti. La centrale termofrigorifera è ubicata preferibilmente nei piani interrati o seminterrati se vengono adottate pompe di calore geotermiche o in copertura se le pompe di calore sono aerotermiche. In adiacenza o nello stesso locale è generalmente ubicata la sottocentrale di distribuzione e di preparazione dell'acqua calda sanitaria.

Nel caso venga adottato il gas combustibile per le utenze termiche, la centrale termica è preferibilmente ubicata in copertura, mentre la produzione di acqua calda sanitaria avviene localmente mediante caldaie (scaldacqua) a produzione istantanea.

Per quanto riguarda la cottura dei cibi, la soluzione pi diffusa prevede l'impiego del gas combustibile fornito direttamente dall'ente distributore alle singole unità. Inizia ad avere diffusione negli edifici di ultima generazione, il sistema di cottura con elementi elettrici ad induzione. Tale soluzione sarà presa in

considerazione nel modello di rete proposta in quanto consente l'autoconsumo della produzione elettrica da fotovoltaico.

In definitiva, nell'architettura di reti di tipo tradizionale, si fa riferimento ai servizi termici di riscaldamento di invernale (H) centralizzati di edificio e riferiti ad un'unica centrale termica di edificio (CT) avente un unico punto di fornitura gas dalla rete pubblica.

I servizi acqua calda sanitaria (DHW) e cottura cibi (CK) sono locali con fornitura di gas per ogni utenza (UGA).

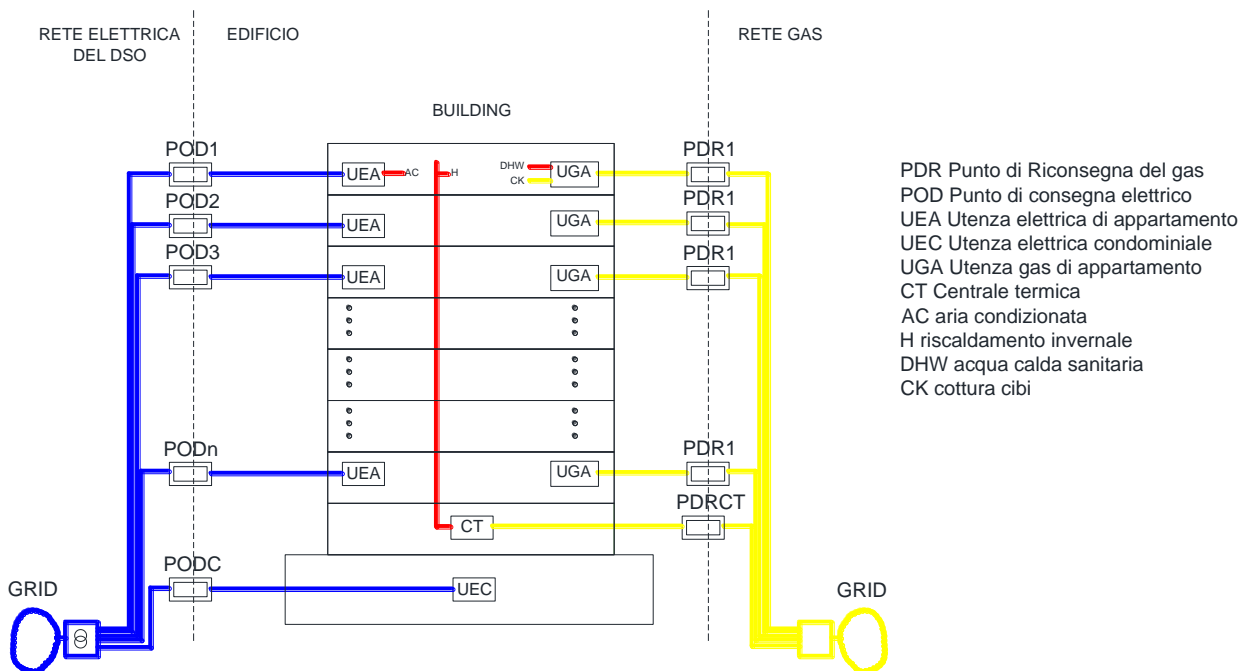
L'aria condizionata (AC) è locale alimentata dalla fornitura elettrica indipendente (UEA).

Le utenze energetiche presenti in un NZEB sono quindi quelle riportate nella tabella seguente.

**Tabella 16. Vettori energetici**

	TBS	Vettore	Tipo	Sigla
Utenze elettriche delle unità residenziali, terziarie e commerciale	L, DW, WM, IE, AC, HBES, ICT	E	I	UEA
Utenze gas delle unità residenziali, terziarie e commerciale	DHW, CK	G	I	UGA
Centrale termica di edificio	H	G	C	CT
utenze condominiali	IE, L, AS	E	C	UEC

La figura seguente mostra l'architettura delle reti elettriche e gas a partire dalle reti pubbliche di distribuzione.



**Figura 29. Architetture di reti con schematizzazione tradizionale**

### 3.4 Fotovoltaico

L'installazione di un generatore di energia da fonte fotovoltaica è un passo essenziale per realizzare un edificio con la qualifica di NZEB, poiché come detto non è sufficiente ridurre i consumi energetici ma occorre fornire energia da fonti rinnovabili all'edificio in modo da ottenere un saldo mensile e annuale prossimo allo zero.

In uno scenario di rete tradizionale come quello rappresentato nella Figura 29, l'impianto fotovoltaico di edificio può essere allacciato al punti di fornitura dell'utenza condominialePODC (Figura 30). Infatti, l'impianto fotovoltaico può essere installato esclusivamente nella copertura di proprietà condominiale ovvero in altri spazi sempre di pertinenza condominiali.

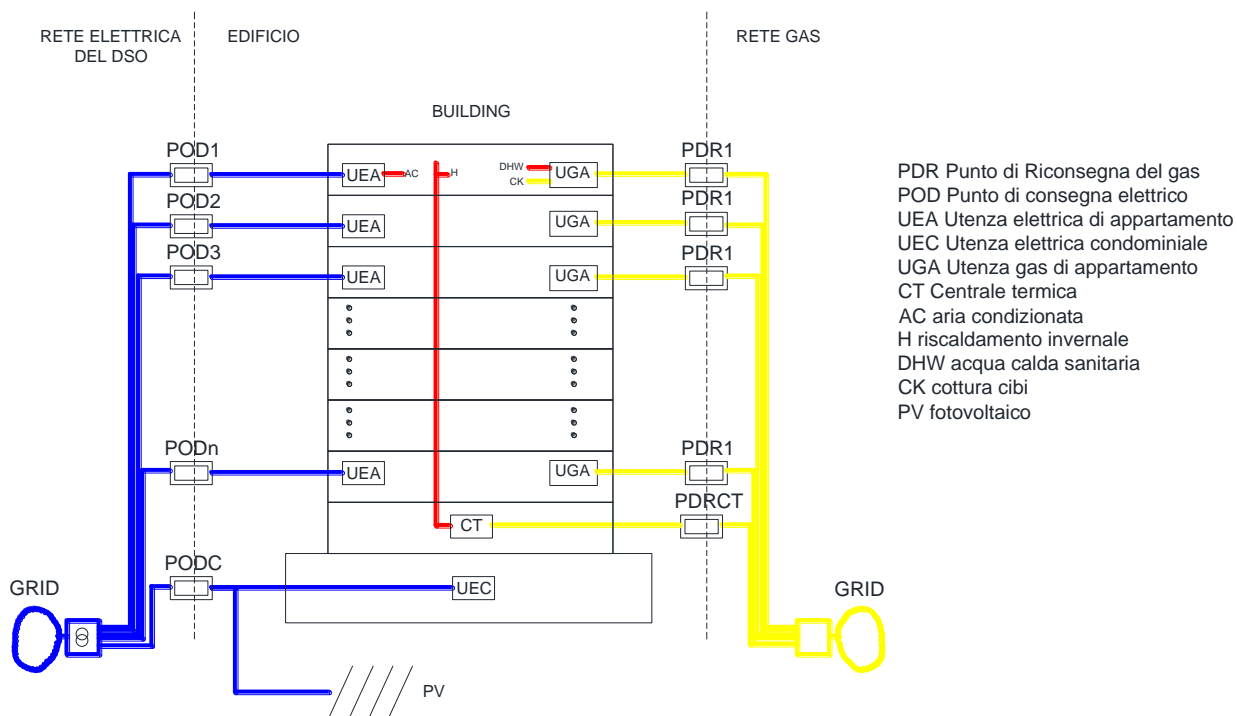


Figura 30. Allaccio dell'impianto fotovoltaico al punto di fornitura dell'utenza condominiale PODC

Il punto di fornitura dell'utenza condominiale PODC è caratterizzato da una potenza contrattuale necessaria a sopperire ai soli fabbisogni condominiali (luci e ascensori) con consumi annuali modesti, dell'ordine dei 5000 kWh per edifici di piccole dimensioni, fino a 10.000 per edifici più grandi. Negli edifici con dimensioni ancora più grandi la fornitura condominiale può essere maggiore dell'ordine di 15-20 kW con consumi annuali che possono raggiungere i 15000-20000 kWh.

La potenza massima installabile per l'impianto fotovoltaico dipende dalla disponibilità di superficie in copertura.

La potenza installabile sulla copertura di un edificio è dell'ordine di 100 W/m<sup>2</sup>, ovvero 100 kW / 1000 m<sup>2</sup>.

Pertanto la potenza massima installabile può raggiungere valori anche dell'ordine dei 100 kW e oltre.

Ne consegue che in una rete come quella in figura Z, la gran parte dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico è immessa in rete e non è possibile realizzare sistemi BEMS per l'ottimizzazione del profilo elettrico.

Il problema fondamentale dell'impiego della generazione fotovoltaica negli edifici NZEB con architetture di rete tradizionali è la sproporzione tra la generazione elettrica da fonte fotovoltaica e il carico elettrico condominiale al quale è allacciato l'impianto.

La tabella seguente mostra valori statistici indicativi di consumi annuali per utenze condominiali di edifici tipici e generazione massima da fotovoltaico, evidenziando la presenza di un esubero di energia.

Tale esubero è valido ai fini della qualificazione NZEB perché viene conteggiato nella valutazione del saldo energetico annuale ma non è valido ai fini dell'ottimizzazione della prestazione energetica reale dell'edificio perché facente parte di un impianto fiscalmente differente rispetto a quelli delle unità abitative. Di fatto

l'energia generata viene ceduta alla rete con tariffa di vendita e riacquistata dalle singole utenze con tariffa di acquisto, con notevoli svantaggi dal punto di vista economico.

E' opportuno correlare fiscalmente la fornitura condominiale PODC e le forniture singole POD in modo da favorire l'autoconsumo in loco della generazione fotovoltaica anche dal punto di vista economico.

**Tabella 17. valori statistici indicativi di consumi annuali per utenze condominiali di edifici tipici e generazione massima da fotovoltaico**

Area copertura	Appartamenti a piano	Potenza utenze condominiali	Energia annuale utenze condominiali	Potenza massima fotovoltaico	Energia generata da fotovoltaico	Energia in esubero
m <sup>2</sup>	#	kW	MWh	kW	MWh	MWh
200	2	5	5	20	30	25
400	4	5	5	40	60	55
600	6	10	10	60	90	80
800	8	10	10	80	120	110
1000	10	15	15	100	150	135
2000	20	20	20	200	300	280

Dal punto di vista energetico l'energia generata è conteggiata nel saldo annuale dell'edificio NZEB, dal punto di vista economico, l'energia è ceduta alla rete a prezzo di vendita dal condominio e riacquistata dai singoli condomini a prezzo di acquisto con un notevole svantaggio economico.

La rete elettrica con punti di fornitura differenti tra utenza condominiale con fotovoltaico (PODC) e utenze singole (POD) comporta notevoli svantaggi ai singoli condomini:

- 1) L'energia elettrica generata dal fotovoltaico è in esubero rispetto ai consumi condominiali
- 2) L'energia elettrica generata dal fotovoltaico è tipicamente non contemporanea al profilo di consumo condominiale, con ulteriore svantaggio economico
- 3) Non è possibile autoconsumare in modo ottimizzato l'energia elettrica generata dal fotovoltaico
- 4) L'energia elettrica generata dal fotovoltaico è per gran parte venduta alla rete con prezzi svantaggiosi
- 5) Non è conveniente per i singoli utenti attuare politiche di demand side management

Non è tecnicamente ed economicamente vantaggioso pensare ad un impianto fotovoltaico centralizzato ma suddiviso in piccoli impianti collegati ciascuno all'impianto elettrico di pertinenza delle singole unità. La soluzione ottimale quindi consiste nel realizzare un'architettura di rete con fornitura unica.

### 3.5 Impianto di riscaldamento a pompa di calore e pannelli radianti

L'architettura impiantistica proposta per gli edifici NZEB prevede l'utilizzo di:

- pompe di calore, geotermiche dove tecnicamente vantaggioso, per la generazione del calore sia per il riscaldamento d'ambiente sia per l'acqua calda sanitaria
- sistemi di pannelli radianti a pavimento per la diffusione del calore

Gli edifici NZEB sono caratterizzati da un elevatissimo livello di isolamento termico sia delle superfici opache sia delle superfici trasparenti con conseguente ridotto fabbisogno energetico per la climatizzazione. Inoltre l'uso di sistemi di emissione a pannelli radianti a pavimento consente la distribuzione del fluido termovettore a bassa temperatura.

Inoltre, la combinazione dell'elevato isolamento termico e dell'uso di sistemi radianti determina un'elevata capacità termica (inerzia termica) della porzione di edificio riscaldato. Ciò richiede di programmare in modo attento i tempi di accensione e spegnimento al fine di ottimizzare la prestazione energetica nell'uso intermittente con attenuazione.

D'altra parte, l'elevato isolamento termico consente di sfruttare l'inerzia termica per anticipare l'accensione dell'impianto di riscaldamento senza variazioni significative del fabbisogno energetico del sistema.

Per attuare politiche di ottimizzazione gestionale è necessario implementare sistemi di gestione avanzati (BEMS) che sfruttano i segnali di input e output dei sistemi di controllo intelligenti (HBES e BACS).

I sistemi di generazione del calore ed i cicli frigoriferi, tradizionalmente, sono regolati prevalentemente con modalità on-off, anche in quanto l'inerzia termica intrinseca dei sistemi serviti non richiede un controllo particolarmente fine. Nell'ambito delle pompe di calore, anche in presenza di un'unica macchina, la potenzialità complessiva è suddivisa tra più circuiti, in modo che sia possibile una regolazione a gradini della potenza erogata. Per applicazioni di piccola potenza, per le quali non è commercialmente sostenibile la suddivisione in gradini di parzializzazione, si sono diffuse negli ultimi anni macchine con portata variabile di refrigerante. Tali macchine, volgarmente denominate "a inverter", equipaggiate prevalentemente con compressori "scroll", modulano la potenza erogata utilizzando alternativamente, motori asincroni con alimentazione tramite convertitore di frequenza statico (inverter), motori a corrente continua, by-pass del refrigerante trattato dal compressore, ecc. Per le macchine di maggiore potenza, dal punto di vista termico, è sufficiente accoppiare la macchina ad un serbatoio d'acqua (sull'aspirazione della macchina) di volume sufficiente a garantire una temperatura di mandata all'impianto con modeste variazioni nel tempo, non oltre 1 °C per minuto. Ciò però comporta che l'assorbimento di energia elettrica sia caratterizzato da picchi di valore massimo costante e durata variabile in funzione della potenza media richiesta dall'impianto.

Si osservi inoltre che molte pompe di calore manifestano inoltre una variazione concorde di efficienza e assorbimento di potenza elettrica al variare delle condizioni operative: nelle condizioni ambientali più favorevoli (es. temperatura di evaporazione più alta) aumentano sia la potenza termica erogata che la potenza elettrica assorbita con maggiore aumento della prima che determina un miglioramento dell'efficienza della macchina. Ciò comporta che, in condizioni ambientali favorevoli, a parità di fabbisogno termico, la potenza elettrica di picco della macchina aumenta, ma si riduce maggiormente la durata media di ciascun picco, con riduzione della potenza elettrica media assorbita dalla pompa di calore.

È evidente quindi che per un corretto dimensionamento dell'impianto, anche dal punto di vista elettrico, è necessario che la potenzialità complessiva di progetto sia fornita mediante un numero di gradini di parzializzazione non inferiore a 3 (es. 3 macchine a 1 gradino, oppure 2 macchine ciascuna con 2 gradini). Per un funzionamento ottimale è opportuno che le macchine siano predisposte per il funzionamento in parallelo, mediante accoppiamento elettronico (una sola macchina opera con controllo "master" mentre le altre operano con controllo "slave"). In alternativa è possibile l'accoppiamento virtuale delle macchine mediante il sistema di regolazione della centrale termofrigorifera, operando sui set-point di attivazione delle macchine.

Nell'architettura di reti con PDC, i servizi termici di riscaldamento di invernale (H) e di acqua calda sanitaria (DHW) sono centralizzati di edificio e riferiti ad un'unica centrale termica di edificio (CT) allacciata al punto di fornitura elettrica condominiale (UEC).

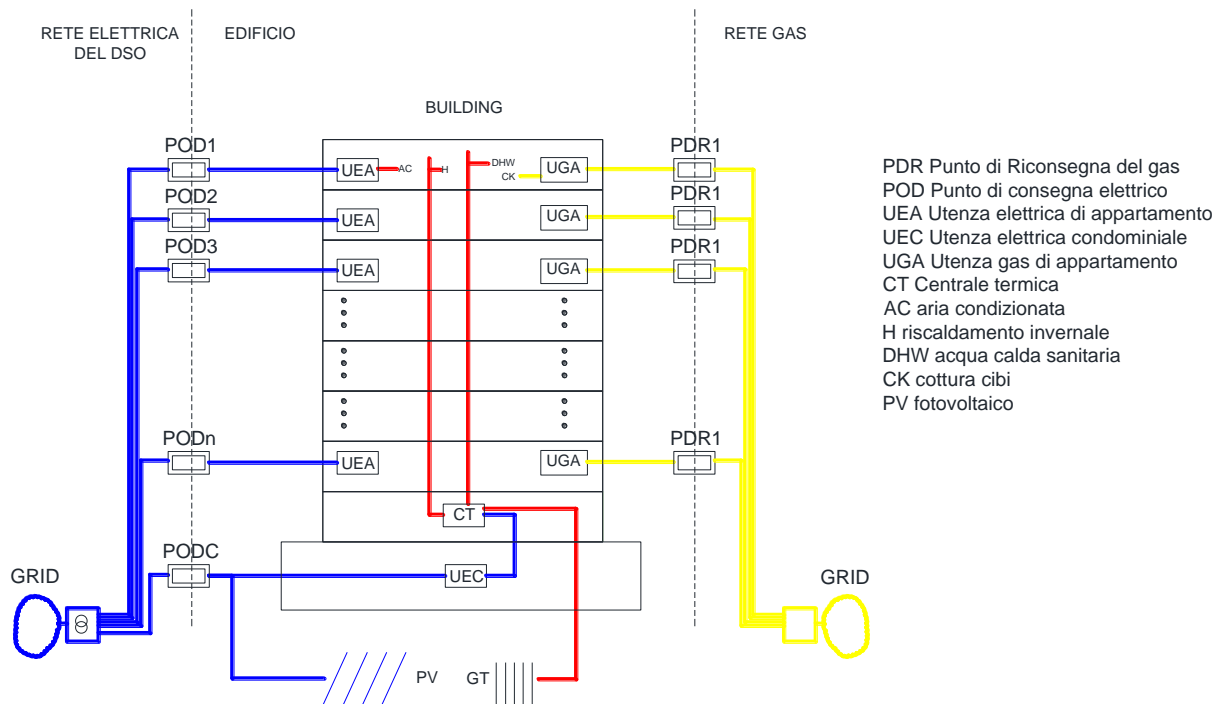
I servizi di cottura cibi (CK) sono indipendenti con fornitura di gas per ogni utenza (UGA).

L'aria condizionata (AC) è locale alimentata dalla fornitura elettrica indipendente (UEA).

Le utenze energetiche presenti in un NZEB sono quindi quelle riportate nella tabella seguente.

	TBS	Vettore	Tipo	Sigla
Utenze elettriche delle unità residenziali, terziarie e commerciale	L, DW, WM, IE, AC, HBES, ICT	E	I	UEA
Utenze gas delle unità residenziali, terziarie e commerciale	CK	G	I	UGA
Utenza condominiale e centrale termica di edificio	IE, L, AS, H, DHW	E	C	UEC

La figura seguente mostra l'architettura delle reti elettriche e gas a partire dalle reti pubbliche di distribuzione, per la soluzione proposta.

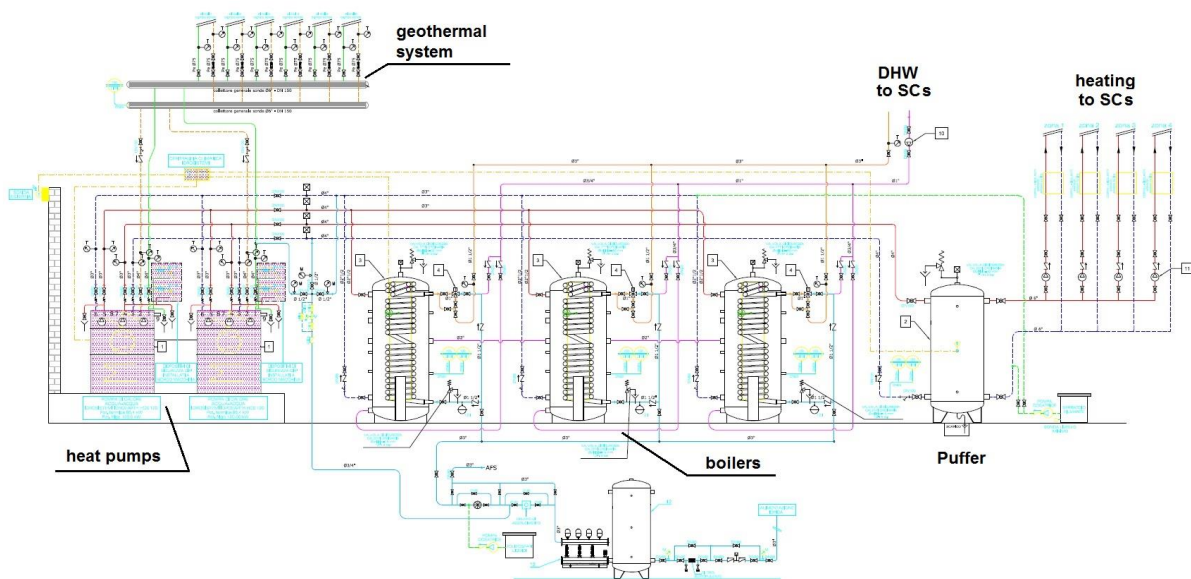


**Figura 31. Architettura delle reti elettriche e gas a partire dalle reti pubbliche di distribuzione, per la soluzione proposta**

Il sistema di riscaldamento centralizzato a PDC può essere utilizzato anche in raffreddamento evitando i sistemi di aria condizionata locali.

Per la ventilazione meccanica degli ambienti l'architettura prevede aspiratori locali stand alone del tipo aspiratori-estrattori statici con recupero di calore. Tali aspiratori sono particolarmente adatti per il ricambio d'aria nelle abitazioni. Il rendimento dell'aspiratore/estrattore può essere anche molto elevato.

In alternativa si può realizzare un sistema con canalizzazioni.



**Figura 32. Esempio di schema generale di un impianto termico**

L'architettura di impianto con pompe di calore geotermiche prevedono:

- una o più pompe di calore;

- un sistema di sonde geotermiche;
- un puffer per l'alimentazione di circuito di distribuzione per il riscaldamento;
- un serbatoio (o più serbatoi) di produzione e accumulo dell'acqua calda sanitaria;
- le pompe di distribuzione dell'impianto di riscaldamento e di ricircolo dell'acqua calda sanitaria (per garantire una tempestiva erogazione ad ogni unità indipendentemente dalla distanza dalla sottocentrale);
- un sistema di distribuzione con satelliti di regolazione controllo e contabilizzazione per ogni unità abitativa.

Il satellite center è costituito da:

- mandata e ritorno per il sistema di riscaldamento, completo di valvola di regolazione e meter;
- mandata per l'acqua calda sanitaria con sistema di ricircolo e meter
- mandata acqua fredda con meter

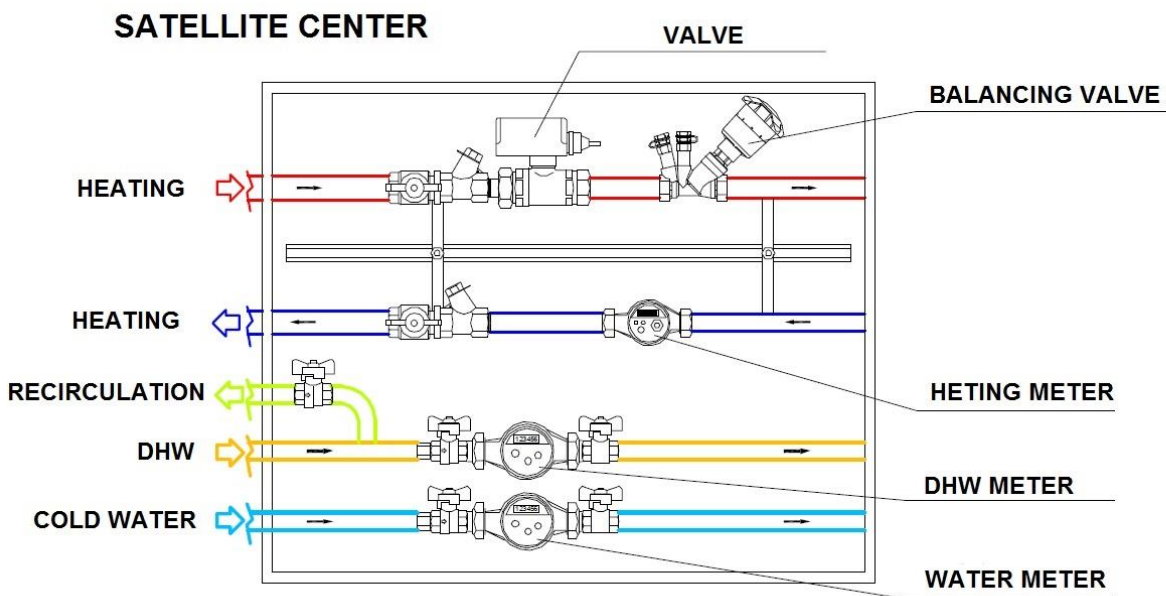
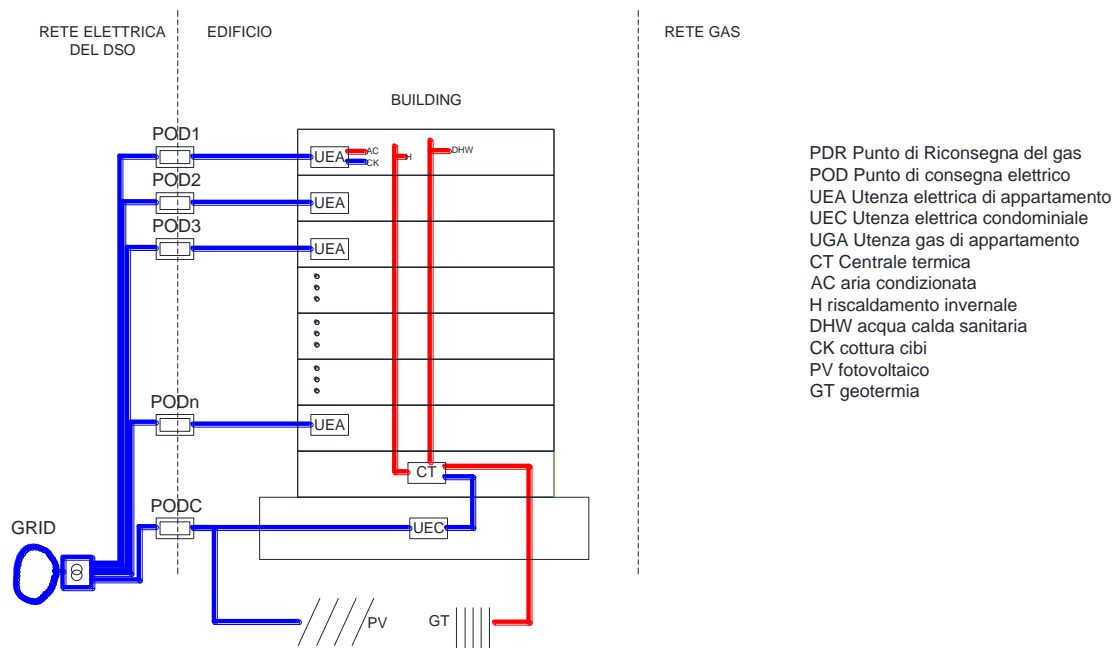


Figura 33. Satellite center

### 3.6 Schema di architettura "tutto elettrico" proposto per gli edifici NZEB di tipo MURBsatellite center

Il modello di micro grid suggerita per gli edifici NZEB di tipo MURB prevede l'impiego del vettore elettrico anche per la cottura dei cibi mediante piani ad induzione.





**Figura 34. Schema della micro grid full electric**

La rete così realizzata consente di evitare la presenza di forniture di gas e esclude qualsiasi tipo di emissione

### 3.7 Architettura di rete della building automation e domotica (HBES/BACS)

Il sistema di impianti tecnici a servizio delle unità dell'edificio NZEB è complesso e necessita dell'assistenza di un sistema di building automation BACS/HBES comune per la gestione e il controllo dei carichi e della generazione locale e per il metering dei consumi.

La rete elettrica è prevista affiancata da un sistema Home and Building Electronic System HBES (definito dalla norma CEI 205-14 REF) con impiego dello standard aperto Konnex (KNX).

Gli impianti della centrale termica sono affiancati da un sistema di Building Automation Control System BACS con impiego dello standard tipicamente impiegato per la gestione delle centrali termiche (BacNet).

I due sistemi HBES e BACS sono collegati ed integrati a livello del server centrale sul quale è allocato un software di gestione di tipo SCADA, con una architettura di tipo piramidale con possibilità di comunicazioni bidirezionali.

A livello di sistema SCADA è integrato anche il sistema di smart metering (SMS).

Lo SCADA è un software di gestione sul quale sono integrate tutte le funzioni di building energy management systems BEMS, compresa la contabilizzazione degli assorbimenti sulla base dei valori comunicati dal sistema SMS.

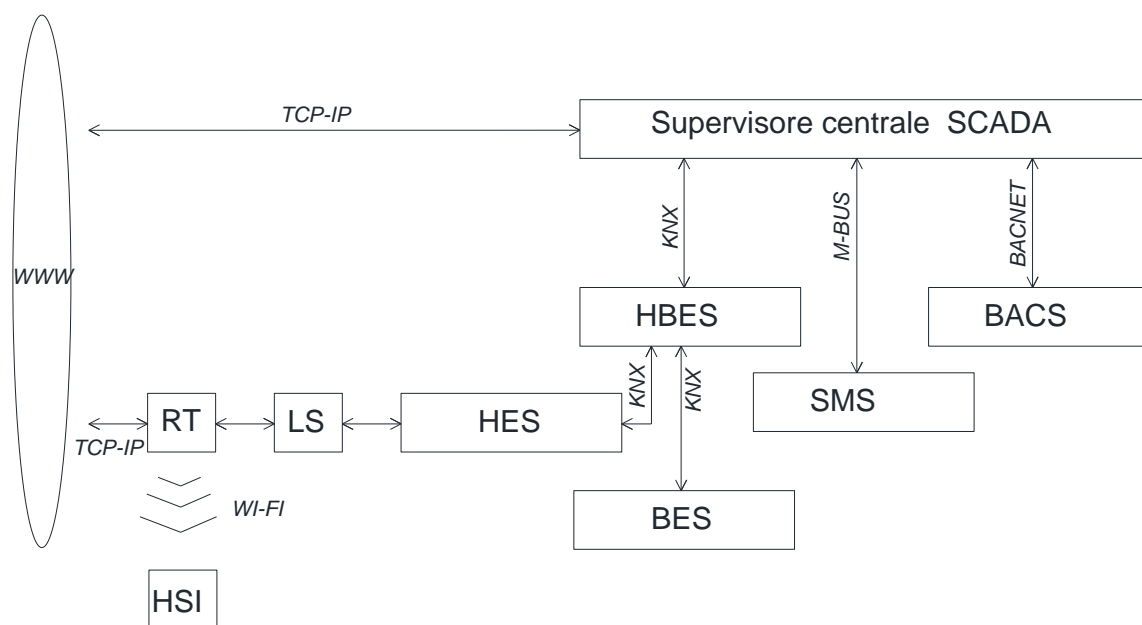


Figura 35. Schema di sistema SCADA

L'architettura completa del sistema HBES consiste di:

- Un sistema indipendente per ciascuna unità (Home Electronic System, HES), su BUS locale, completo di supervisore locale (LS) comunicante in KNX, e collegato ad un router (RT) a sua volta connesso alla rete dati (TCP-IP)
- Un sistema di edificio (Building Electronic System, BES) con una dorsale BUS connessa al sistema di supervisione principale (SCADA)

Gli HES connettono gli impianti tecnici di ciascuna unità (illuminazione, antifurto, schermatura solare, condizionamento etc.) tramite attuatori di tipo smart comunicanti in KNX. Gli HES sono usati dagli utenti per controllare tutti i sistemi domestici e gli elettrodomestici, attraverso una interfaccia uomo impanto - Human System Interface (HSI), ossia un software caricato su un tablet o uno smartphone e connesso via wi-fi al LS. Gli utenti possono accedere anche da remoto in quanto il LS è connesso al router (RT).

Per ogni unità abitativa è prevista l'installazione di un supervisore locale multiprotocollo con supervisore integrato.

Il supervisore è previsto del tipo Micro della Pulsar Engineering multi protocollo capace di integrare gli standard Konnex, Z-WAVE, Modbus ed altri.

Sul supervisore è allocato un sistema di supervisione locale del tipo ThinKnx per l'automazione della unità, basato su un'architettura del tipo client-server. La sezione dal lato server consiste in un dispositivo ThinKnx – Micro che rappresenta l'unità logica del sistema e permette il controllo di tutti i dispositivi ad esso connessi.

La componente client consiste nei PC, touch screen, tablet e smartphone, connessi alla rete LAN via cavo (Ethernet) o WiFi; questi dispositivi comunicano tramite il software ThinKnx con il server per controllare l'impianto.

Il supervisore costituisce un arricchimento importante dell'impianto domotico della singola unità con i seguenti vantaggi:

- Possibilità di implementare funzioni complesse, logiche e temporizzazioni;
- Possibilità di gestire apparati Z-Wave come smart plug o altri dispositivi;
- Creazione di un'interfaccia uomo impianto per ogni unità;
- Integrazione con il sistema di metering.

All'impianto HES di ciascuna unità sono collegati gli elettrodomestici smart.

Nell'architettura di rete proposta si prevede di collegare al sistema HES :

- la lavatrice
- la lavastoviglie

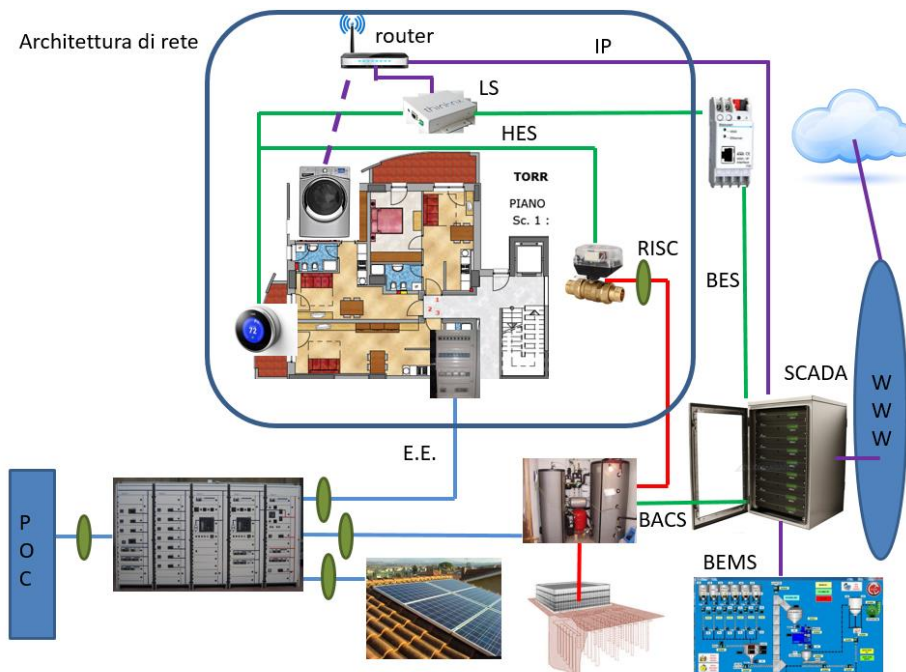
È importante notare la differente tipologia di connessione all'HES dei TBS fissi operanti in un edificio (illuminazione, HVAC etc.) e dei dispositivi smart alimentati mediante prese a spina (lavatrice e lavastoviglie).

I TBS fissi sono direttamente controllati dagli HES attraverso il sistema in standard Konnex (KNX).

Gli elettrodomestici non possono essere monitorati o controllati direttamente dall'HES, in quanto i produttori optano per l'adozione di protocolli proprietari. I dispositivi attuali non possono essere attivati o disattivati da parte dell'HES tramite attuatori, poiché essi sono controllati per mezzo di circuiti elettronici e il semplice alimentarli o disalimentarli non costituirebbe un impiego corretto. L'unica possibilità di monitorare e controllare tali tipi di dispositivi è l'uso dei protocolli proprietari e l'integrazione con il sistema HBES a un livello superiore, quale ad es. la rete TCP/IP o architetture di tipo cloud.

L'adozione di protocolli aperti da parte degli elettrodomestici smart costituirà una forte spinta alla diffusione dei BACS nelle strutture residenziali. L'integrazione degli elettrodomestici smart dotati di protocolli aperti all'interno di BACS distribuiti è un elemento chiave per la diffusione di tali sistemi. Nell'attesa di tale evoluzione, all'interno della microgrid proposta, gli elettrodomestici per lavaggi e gli altri carichi gestibili sono considerati alla stregua di dispositivi smart. Essi sono in grado di comunicare tramite wi-fi attraverso il router di unità verso un cloud e l'utente è in grado di operare localmente o da remoto attraverso l'interfaccia su tablet o smartphone.

Per quanto riguarda la parte BES, è prevista la realizzazione di una dorsale backbone di edificio del sistema HBES su protocollo Konnex on IP. Si utilizzeranno accoppiatori TP/IP per ogni unità. Il BES, d'altra parte, connette gli impianti tecnici centralizzati ed è collegato a tutti gli HES attraverso un accoppiatore (coupler, CP). Il BES è usato dal BEMS per gestire i servizi centralizzati e i carichi controllabili tramite il sistema SCADA.



**Figura 36. Elettrodomestici collegati in wi/fi con il router**

E' prevista la realizzazione di un sistema di gestione e supervisione (SCADA) di tutti gli impianti elettrici e meccanici.

Il sistema consente:

- il monitoraggio dei consumi energetici (elettrici e termici) suddiviso per ogni unità e su profili orari;
- la supervisione degli impianti elettrici e termici per la diagnostica e la manutenzione;
- la gestione dell'impianto centralizzato di riscaldamento/raffrescamento;
- la gestione degli impianti elettrici e di illuminazione delle aree comuni;
- la possibilità di gestione degli impianti locali di riscaldamento/raffrescamento;
- la possibilità di gestione degli impianti locali elettrici, potendo intervenire sul distacco o ritardo di alcuni carichi non prioritari (lavaggi);
- la predisposizione alla gestione di carichi importanti e comuni quali ad esempio ricariche di veicoli o servizi di lavanderia;
- la predisposizione alla gestione di sistemi di accumulo elettrico centralizzato e/o distribuito.
- la predisposizione alla gestione di sistemi di generazione di emergenza (gruppi elettrogeni ed UPS).

### 3.8 Smart metering

L'architettura prevede la realizzazione di un sistema di smart metering completo costituito da:

- un sistema di misura distribuita per l'energia elettrica;
- un sistema di misura distribuita per l'acqua calda sanitaria, per il riscaldamento e per l'acqua potabile;
- un sistema di misura dei parametri ambientali.

Tutti i misuratori sono previsti del tipo comunicante per realizzare un sistema di misura distribuita.

L'archiviazione delle misure avviene sia a livello di misuratore, tramite il data logger presente, per le ultime misure (circa un anno), sia a livello centralizzato con archivio completo delle informazioni nel sistema SCADA di edificio.

La visualizzazione avviene sia interrogando il misuratore locale, sia a livello centralizzato tramite il sistema SCADA e sia attraverso un sistema di APP a disposizione di ogni utente.

#### 3.8.1 Metering elettrico

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di misura distribuita per l'elettricità consumata dalle singole utenze capace di fornire misure orarie e profili giornalieri. Il sistema è dotato di:

- misuratori di energia elettrica per ogni utenza residenziale, allocati in partenza di ogni montante nel quadro generale di edificio;
- misuratori di energia elettrica per le utenze comuni accorpate (centrali termiche, illuminazione, ecc.);
- misuratore di energia elettrica per il fotovoltaico;
- misuratore di energia elettrico generale.

I misuratori sono previsti del tipo comunicante con standard tipo M-Bus o equivalente in modo da essere integrati nel sistema generale SCADA di edificio.

Si è fatto riferimento al dispositivo marca Electrex tipo Femto D4 RS485 230-240V ENERGY ANALYZER.

Lo strumento è un Contatore / Analizzatore di energia mono-trifase con display LCD grafico retroilluminato. Misura del THD su tensione e corrente, della corrente di neutro, tensione massima e minima, corrente e potenza massima e dell'energia attiva di ogni fase. Interfaccia RS485. Dimensione guida DIN 4 moduli. Alimentazione 230-240Vac.



Figura 37. Electrex tipo Femto D4 RS485 230-240V ENERGY ANALYZER

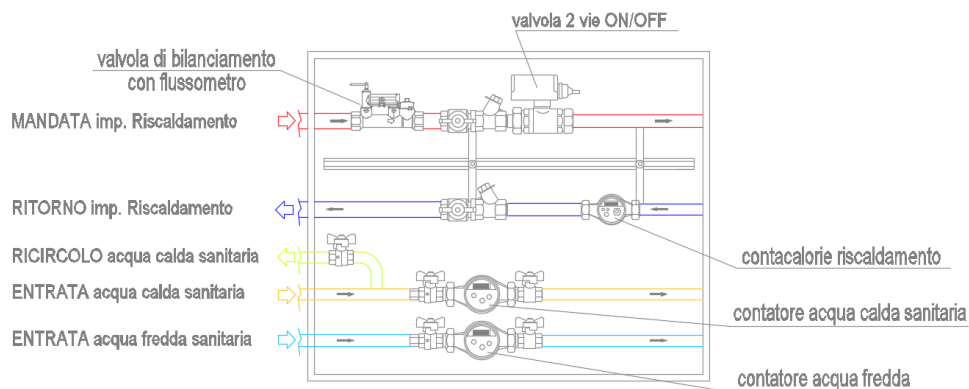
I misuratori avranno la possibilità di memorizzare le informazioni nel dispositivo stesso per una consultazione da parte dell'utente e saranno integrati in un sistema di misura distribuito integrato nel sistema SCADA generale.

### 3.8.2 Metering acqua calda, calore e acqua potabile

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di misura per acqua calda, calore e acqua potabile costituito da misuratori allocati nelle cassette di smistamento al piano, del tipo:

- contatore acqua potabile
- contatore acqua calda sanitaria
- contacalorie riscaldamento

I misuratori sono tutti comunicanti con il sistema centralizzato.



**Figura 38. Schema di installazione metering acqua calda, calore e acqua potabile**

### 3.8.3 Metering parametri ambientali

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di misura dei parametri ambientali più importanti:

- temperatura dell'aria,
- velocità del vento,
- umidità,
- presenza pioggia.
- Sono previste poi sonde di temperatura per monitorare le centrali termiche.
- Le sonde sono da integrare nel sistema SCADA.

### 3.8.4 Trasparenza dei consumi e dei costi

Uno degli aspetti più importanti è la trasparenza dei consumi e dei costi.

Gli utenti dovrebbero conoscere in "near real time" i propri consumi ed i costi di approvvigionamento. Così non avviene per mezzo dei "contatori intelligenti" del distributore.

In Italia, attualmente il near real time consiste in:

- 1) l'ora o il quarto d'ora, per quanto riguarda i kWh, con grande difficoltà da parte dell'utente ad interrogare il contatore;
- 2) il mese o il bimestre per quanto riguarda gli euro, con difficoltà da parte dell'utente ad interpretare la bolletta.

Un sistema di metering di proprietà consentirebbe di raggiungere elevati livelli di trasparenza e gestibilità dei dati, con possibilità di interrogazione semplice tramite device mobile.

E' possibile anche attivare allarmi e segnalazioni di esuberi di potenza.

Non c'è nessun sistema di controllo che funzioni meglio della verifica diretta e continua degli utenti sui costi. Alcuni studi statistici dimostrano che tale misura comporta risparmi dell'ordine del 10%.

Se l'utente conosce in near real time quanto sta spendendo, si regolerà di conseguenza, con un'efficacia migliore di qualunque raffinato sistema automatico.

E' possibile pensare anche a sistema di contabilizzazione con schede elettroniche prepagate (virtuali) per una migliore gestione economica delle forniture all'interno della micro grid.

### 3.9 Architettura di smart micro grid per gli NZEB

La complessità dei TBS richiede un'architettura particolare per il sistema elettrico, in grado superare lo schema rigido tradizionale che consiste nelle forniture singole da 3 kW ciascuna, verso una microgrid adattiva.

La proprietà/condivisione degli impianti consente la gestione di tipo comune dell'edificio.

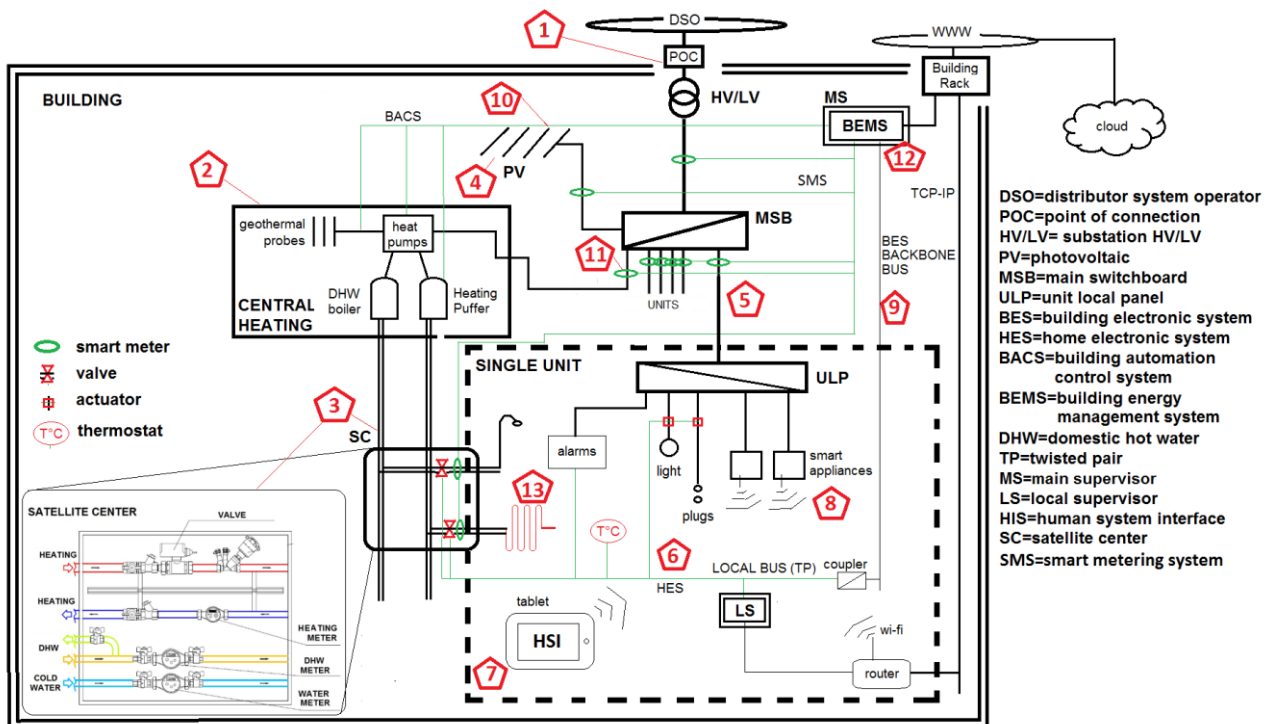
Nel modello proposto, la proprietà della microgrid sta ai singoli utenti o al DSO, a seconda della normativa vigente. La gestione della microgrid è effettuata da un "building manager" (BM) che abbia la visione globale dell'edificio, non già da singoli utenti indipendenti. L'aggregazione dei singoli utenti in un sistema, alimentato da una rete comune connessa all'ente fornitore da un punto di connessione unico, permette il conseguimento di obiettivi sia economici che tecnici.

La gestione ottimale del sistema energetico di un edificio richiede che la consegna sia unica e l'aggregazione naturale è a livello di edificio con una fornitura MT ed una cabina MT/BT di proprietà.

L'edificio o un gruppo di edificio rappresenta il limite naturale dell'aggregazione, come per il sistema di riscaldamento. L'aggregazione dei consumatori gravita attorno un nodo elettrico in una microgrid comune, al fine di raggiungere i valori di soglia della domanda e di ottenere un profilo di carico cumulativo più virtuoso e flessibile.

L'architettura di smart grid per gli impianti tecnici a servizio di edifici multi unità di tipo NZEB può essere descritta sinteticamente nei seguenti punti:

- 1) Rete elettrica di distribuzione di proprietà del condominio allacciata alla rete mediante un unico punto di consegna in media tensione e cabina di trasformazione MT/BT (HV/LV) con un quadro elettrico generale di edificio in bassa tensione (MSB);
- 2) Sistema di generazione del calore per riscaldamento e acqua calda sanitaria centralizzato con pompe di calore geotermiche
- 3) Sistema di distribuzione del calore di edificio mediante centri satellite completi di misuratori di calore e acqua
- 4) Impianto fotovoltaico di edificio collegato alla rete elettrica dell'edificio
- 5) Sistema di distribuzione elettrica a partire dalla cabina MT/BT fino alle singole utenze realizzata con montanti singoli con possibilità di impiego di sistemi speciali di distribuzione a livelli di tensione non convenzionali
- 6) Soluzione domotica per ogni singola abitazione (HES) costituita da un BUS in protocollo KNX collegato ad un supervisore locale (LS) a sua volta connesso tramite un router alla rete internet. L'impianto elettrico si dirama da un quadro locale (ULP) completo di protezioni e dispositivi KNX.
- 7) Interfaccia uomo impianto (HSI) per ogni unità abitativa, costituito da sistema di gestione di tutti gli impianti dell'unità, degli elettrodomestici smart e dei consumi, del tipo APP con pagine grafiche intuitive su piattaforme mobili (tablet, smartphone)
- 8) Elettrodomestici smart comunicanti attraverso il router ad un cloud di gestione comunicante a sua volta con il sistema di gestione energetica dell'edificio
- 9) Sistema BUS di edificio (BES) di collegamento di tutti gli impianti domotici delle unità e degli altri sistemi tecnici con un supervisore principale di edificio
- 10) Sistema di controllo e automazione (BACS) degli impianti meccanici centralizzati
- 11) Sistema di smart metering distribuito (SMS)
- 12) Supervisore centrale (MS) di interazione dei sistemi HES, BES, BACS e SMS e dotato di un sistema di gestione energetica dell'edificio (BEMS) per l'ottimizzazione delle prestazioni ed il mantenimento i elevati livelli di comfort
- 13) Sistema di riscaldamento con pannelli radianti a pavimento



**Figura 39. Architettura di smart micro grid per edifici NZEB**

La presenza di sistemi BEMS/BACS per la gestione e il controllo dei TBS consente di implementare logiche DSM avanzate senza sostenere costi aggiuntivi, sfruttando la presenza già prevista di sistemi di building automation (BACS, HBES e SMS), semplicemente implementando nel software di gestione (BEMS) tipicamente già presente in impianti di tale complessità, logiche avanzate di gestione.

Il beneficio economico sarà ripartito tra il building manager (BM) e i singoli utenti finali con modelli di saving sharing che possono prevedere benefici economici oppure bonus a punti. Il BM acquista l'energia dal punto di connessione unico con la rete e "ripartisce" i consumi tra gli utenti applicando contabilizzazioni del tipo:

- A consumo;
- Flat;
- Misti.

Una smart grid futura può essere ritenuta un aggregato di smart buildings, ognuno dei quali è considerato un singolo polo di carico.

*Rete elettrica di distribuzione di proprietà del condominio allacciata alla rete mediante un unico punto di consegna in media tensione e cabina di trasformazione MT/BT (HV/LV) con un quadro elettrico generale di edificio in bassa tensione (MSB);*

La rete elettrica di distribuzione fino ai singoli utenti è comune per tutta l'edificio ed allacciata alla rete attraverso un punto di fornitura unico in media tensione.

La cabina consiste in:

- un locale consegna MT, di pertinenza del distributore dove è allocato lo stallo entra esce del distributore
- un locale misure, con possibilità di accesso sia del distributore sia dell'utente, dove è allocato il misuratore fiscale
- un locale cabina MT/BT, suddiviso a sua volta in un locale MT contenente il quadro MT ed il/i trasformatore/i MT/BT ed un locale BT contenente il quadro generale di bassa tensione

La soluzione ottimale prevede l'impiego di una coppia di trasformatori gemelli al fine di garantire una completa ridondanza in caso di problemi su un trasformatore.

Un elevato miglioramento dell'affidabilità del sistema è garantito dalla presenza di un gruppo elettrogeno di emergenza (a gas o gasolio), poiché un disservizio elettrico generale comporterebbe un blocco su tutti gli impianti compresi quelli di riscaldamento, acqua calda e ventilazione meccanica. Nel caso di gruppo elettrogeno ad elevata autonomia è possibile pensare anche ad una soluzione ad un solo trasformatore MT/BT che semplifica notevolmente la sezione MT dell'impianto e le regole di connessione alla rete MT.

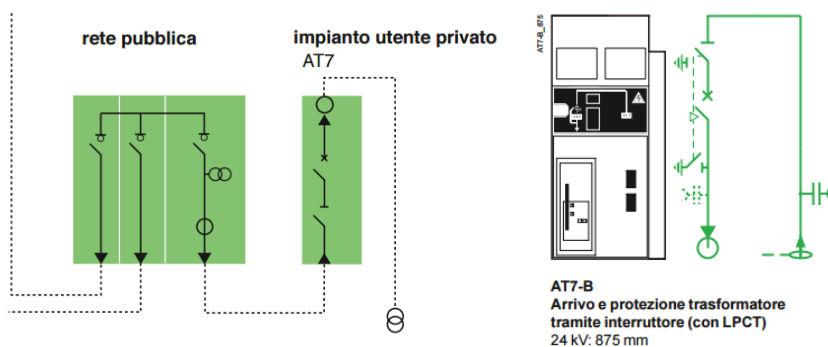


Figura 40. Protezione tipo AT7 della Schneider Electric

Infatti nel caso di un unico trasformatore è possibile utilizzare un'unità integrata MT con protezione conforme alla regola tecnica di connessione (tipo AT7 della Schneider Electric in Figura 40).

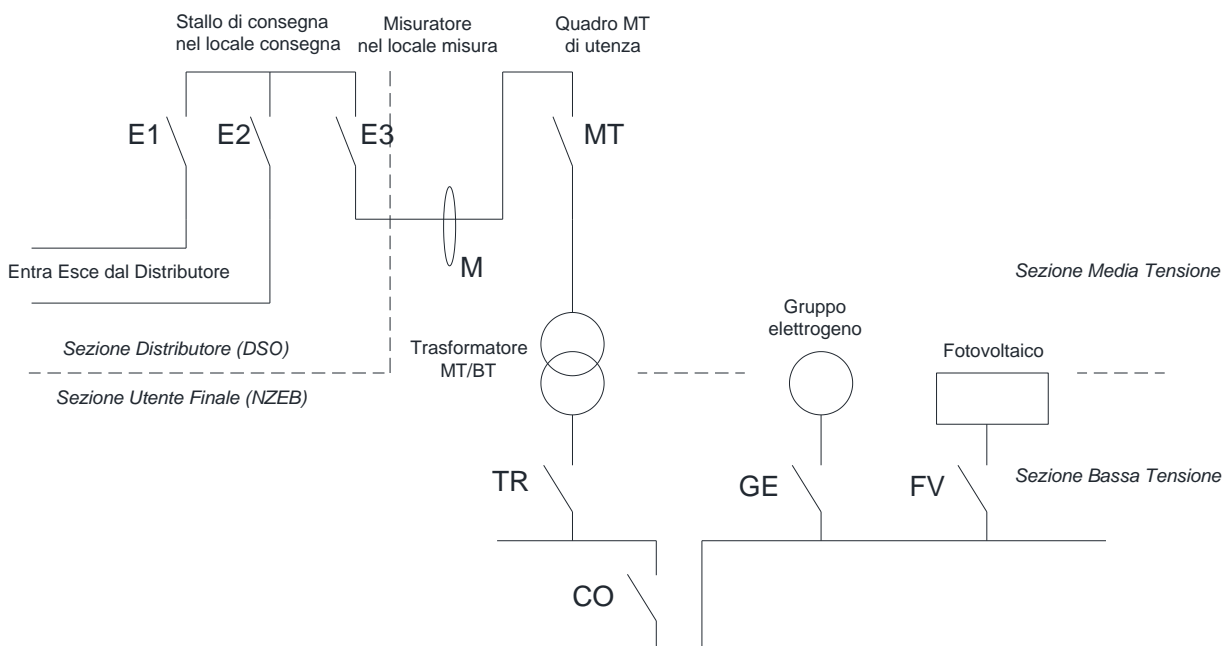


Figura 41

L'impianto di utenza è alimentato tramite una protezione generale (MT) in monoblocco completa di relè e misuratori. L'unità monoblocco è a ridotte dimensioni e a minima manutenzione.

Il trasformatore è del tipo a secco, triangolo stella con neutro a terra, completo di cassa di contenimento.

Il quadro generale di bassa tensione è suddiviso in due sezioni:

- una *sezione normale* alimentata da rete tramite il trasformatore;



- una *sezione preferenziale o in isola*, alimentata da rete in funzionamento ordinario e in isola tramite il gruppo elettrogeno in funzionamento di emergenza (assenza rete generale).

Il compromesso tecnico-economico migliore prevede l'utilizzo di un congiuntore (CO) che in caso di emergenza distacca preventivamente la sezione normale, limitando il carico alimentato dal gruppo elettrogeno mediante la chiusura dell'interuttore GE. In questo modo è possibile dimensionare il gruppo elettrogeno facendo riferimento al solo carico preferenziale.

L'impianto fotovoltaico è collegato alla sezione preferenziale del quadro, in modo tale che in caso di emergenza contribuisce all'alimentazione in isola della parte preferenziale, limitando l'uso del gruppo elettrogeno a gasolio.

Il sistema di gestione avanzato BEMS deve prevedere una "modalità di esercizio in isola" in modo da mantenere sempre in funzionamento il gruppo elettrogeno per fornire la tensione portante al corretto funzionamento degli inverter dell'impianto fotovoltaico.

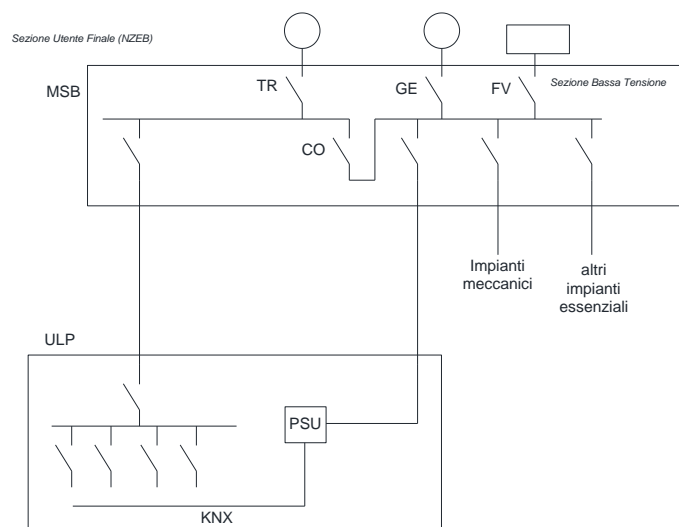
Il BEMS prevede successivamente al distacco del carico normale, la possibilità di richiusura del congiuntore CO, previa apertura della protezione generale TR, e controllo in real time dei singoli carichi alimentati dalla sezione normale, in modo da rialimentare la maggior parte possibile del carico dell'edificio.

La sezione preferenziale/in isola della rete prevede:

- impianti di sicurezza di edificio
- impianti tecnici comuni essenziali (luci, ascensori, idrico, ecc.)
- impianto di riscaldamento, ventilazione e acqua calda sanitaria
- impianti HES e di sicurezza delle singole unità

La sezione normale prevede:

- impianti elettrici delle singole unità, alimentati dai quadri locali (ULP)
- impianti comuni non essenziali.



**Figura 42. Schema dell'impianto elettrico**

L'architettura di rete proposta con il modello della fornitura unica consente di ottenere notevoli vantaggi:

- Maggiore informazione sui consumi e sui costi energetici
- Trasparenza dei costi
- Aggregazione delle utenze
- Autogenerazione ed autoconsumo
- Partecipazione attiva (e remunerata) dei consumatori al controllo della domanda
- Abbattimento delle barriere a favore della concorrenza
- Favorire l'innovazione tecnologica e le applicazioni utilizzatrici avanzate
- Sfruttare l'intelligenza della rete a favore dei cittadini e non di altri player

L'architettura di rete proposta sembra andare nella stessa direzione prevista dal nuovo patto a livello europeo, un New Deal for Energy Consumers (luglio 2015) per il quale la Commissione Europea identifica tre pilastri fondamentali:

- dare maggior potere ai consumatori;
- realizzare veramente le smart home e gli smart network nell'interesse dei cittadini;
- proteggere i dati privati.

A seconda della potenza complessivamente impegnata, il punto di consegna unico può essere in bassa tensione o in media tensione.

La scelta di avere un punto di consegna unico rispetto a punti di consegna indipendenti determina vantaggi sia economici che tecnici.

I vantaggi economici sono:

- l'applicazione di tariffe BT o MT altri usi, invece della tariffa BT usi residenziali;
- la possibilità di sfruttare al meglio la generazione distribuita, incrementando la quota di autoconsumo;
- la possibilità di ottimizzare la gestione dei carichi, incrementando ulteriormente la quota di autoconsumo di energia generata localmente e ottimizzando gli oneri di acquisto dell'energia grazie a contratti che tengano conto del profilo di assorbimento controllato;
- la gestione ottimizzata e di precisione del riscaldamento, potendo verificare ed impostare i setpoint delle unità;
- la possibilità di implementare servizi innovativi di gestione dei carichi, quali in particolare la gestione ottimizzata del riscaldamento e la gestione ottimizzata dei lavaggi;
- la messa a punto di un sistema di supervisione e monitoraggio dei consumi, che consenta un'ulteriore ottimizzazione energetica (in quanto ciascun utente è a conoscenza dei propri consumi elettrici e termici e può di conseguenza ottimizzare le proprie abitudini).

I vantaggi tecnici sono:

- la migliore qualità del servizio elettrico, in caso di allaccio diretto in media tensione;
- la possibilità di migliorare ulteriormente la qualità del servizio, prevedendo sistemi di generazione in emergenza;
- la maggiore sicurezza degli utenti, per mezzo del sistema di distribuzione TN invece del sistema TT.

In caso di edificio costituito da sole utenze residenziali, il punto di consegna unico è a servizio di tali utenze. In tal caso gli oneri per l'acquisto dell'energia dovranno essere opportunamente ripartiti tra le utenze. In caso di edificio costituito anche da utenze non residenziali (ad esempio commerciali) possono esistere due configurazioni:

- Può esserci un punto di consegna unico solo per le utenze residenziali, mentre le utenze non residenziali possono essere servite da un altro punto di consegna unico ovvero da altri punti di consegna;
- Può esserci un punto di consegna a servizio di tutte le utenze dell'intero edificio.

### *Sistema di generazione del calore per riscaldamento e acqua calda sanitaria centralizzato con pompe di calore geotermiche*

I sistemi di riscaldamento e di acqua calda sanitaria (ACS) sono organizzati a partire da un sistema di riscaldamento centralizzato accoppiato a un sistema a pompa di calore geotermica (PDC).

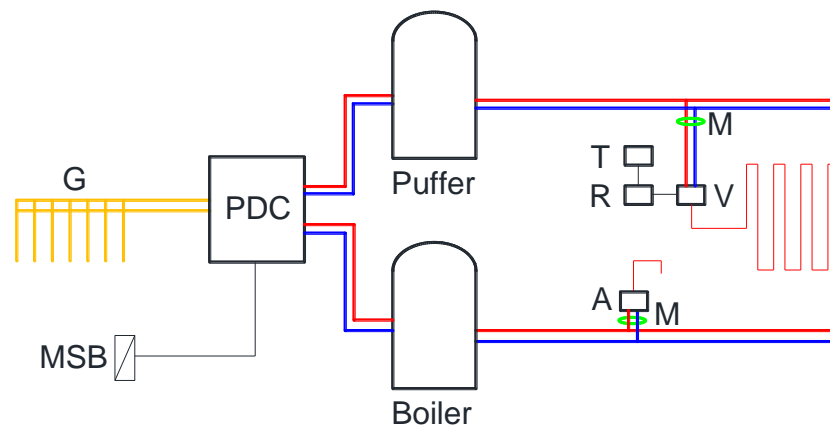
La distribuzione del calore è comune, a partire da un puffer per il riscaldamento e un boiler di elevata capacità per l'ACS.

La pompa di calore PDC è alimentata elettricamente direttamente dal quadro generale di bassa tensione MSB.

Il sistema di riscaldamento è costituito dai seguenti circuiti:

- circuito primario di alimentazione del puffer;
- circuito secondario dal puffer ai satelliti di unità;

- circuito terziario dal satellite fino ai pannelli radianti.



**Figura 43. Schema d'impianto generale del sistema a pompaTT**

La Figura 32 seguente riporta l'esempio di uno schema completo di impianti meccanici realizzati con una coppia di pompe di calore geotermicageotermiche.

*Sistema di distribuzione del calore di edificio mediante centri satellite completi di misuratori di calore e acqua*

Ogni unità dell'edificio è dotata di un modulo d'utenza satellitare o satellite center (SC), equipaggiato con le valvole di regolazione ed i sistemi di metering.

Uno schema di una tipologia di modulo satellitare è rappresentato nella Figura 33.

All'interno del modulo sono presenti:

- per il sistema di riscaldamento:
  - la valvola di regolazione a 2 vie o a 3 vie sulla mandata calda;
  - la valvola di bilanciamento sulla mandata calda;
  - il misuratore di portata sul ritorno freddo, combinato alle sonde di temperatura su mandata e ritorno per la determinazione dell'energia erogata.
- Per il sistema di acqua calda sanitaria:
  - il misuratore con relative valvole di intercettazione;
  - la tubazione di ricircolo.
- Per il sistema di acqua fredda:
  - il misuratore con relative valvole di intercettazione;

I SC contabilizzano il calore e il consumo di acqua calda o fredda, attraverso i misuratori M in figura, rendendo le singole unità immobiliari indipendenti nell'uso degli impianti tecnici come per esempio nella scelta della temperatura di setpoint per il riscaldamento, consentendo quindi una ripartizione delle spese equa e responsabilizzando gli utenti. Vengono installati a valle della centrale termica e possono essere collegati al termostato ambiente in modo da impostare la temperatura desiderata.

Il sistema di riscaldamento con pannelli radianti a pavimento è costituito da un collettore di distribuzione dal quale sono distribuiti i circuiti di riscaldamento di ciascun ambiente. Ogni circuito è regolato da una valvola che modula la portata d'acqua calda in modo da controllare la potenza termica erogata in relazione alle effettive esigenze dell'ambiente. Infatti, la potenza richiesta dipende, oltre che dalla temperatura esterna, pressoché identica per tutti gli ambienti, dagli apporti solari e termici delle apparecchiature elettriche presenti all'interno di ciascun ambiente.

Per unità abitative costituite da 1 o 2 ambienti con medesima esposizione la regolazione per singolo ambiente si sovrappone alla regolazione per unità e può essere omessa. In tal caso, la regolazione può essere limitata al controllo di tipo on-off della valvola sita nel satellite d'utenza, con interruzione della

circolazione dell'acqua al raggiungimento della temperatura di set-point. Un elevato isolamento termico e un'elevata capacità termica della porzione riscaldata rendono ancora più efficace il sistema, riducendo ulteriormente le differenze possibili delle temperature nei diversi punti dei locali serviti.

*Impianto fotovoltaico di edificio collegato alla rete elettrica dell'edificio*

Per soddisfare i fabbisogni energetici annuali, l'architettura di rete proposta prevede l'installazione di un impianto fotovoltaico di edificio.

Le attuali disposizioni regolatorie prevedono due problematiche che ostacolano l'installazione efficiente ed economica degli impianti fotovoltaici per edifici multiunità. Le due problematiche sono:

- l'impianto fotovoltaico installato negli spazi condominiali deve essere asservito all'utenza condominiale comune e non alle utenze residenziali singole;
- l'impianto fotovoltaico non può alimentare in isola la rete, in caso di disservizio.

La prima problematica è superata dalla rete proposta per la presenza di un allaccio unico ed una micro grid unica che alimenta anche le utenze singole delle unità immobiliari.

Per la seconda problematica che riguarda l'aspetto fiscale della contabilizzazione dell'energia elettrica generata dal sistema fotovoltaico nel funzionamento in isola, il problema è superato dal fatto che tale funzionamento si attiva solo in caso di emergenza in assistenza al gruppo elettrogeno di emergenza. La rete infatti è prevista sempre esercita connessa al distributore.

Per il dimensionamento dell'impianto si deve considerare:

- la disponibilità di spazio in copertura;
- l'effettiva domanda di energia elettrica dell'edificio.

Considerando che le attuali efficienze consentono di raggiungere il valore di 150 W/m<sup>2</sup>, la disponibilità di una superficie dell'ordine di 1000 m<sup>2</sup>, consente di realizzare impianti dell'ordine di 100 kW, applicando un coefficiente pari a 0,7 per tenere conto dell'effettivo impiego dello spazio.

Il criterio di dimensionamento ottimale dell'impianto fotovoltaico deve tenere conto degli aspetti economici correlati alle immissioni in rete dell'energia. La soluzione ottimale prevede il massimo autoconsumo dell'energia, evitando le immissioni in rete. Il modello di architettura proposto con unico punto di fornitura consente di raggiungere valori di potenza/energia elevati ottimizzando l'autoconsumo in loco dell'energia. Inoltre la proposta di strategie di controllo della domanda di energia consente di ottenere ulteriori ottimizzazione in termini di autoconsumo dell'energia generata dall'impianto fotovoltaico.

Il modello di architettura di rete proposto in definitiva consente di aumentare la potenza elettrica installata dell'impianto fotovoltaico mantenendo elevati livelli di autoconsumo dell'energia.

*Sistema di distribuzione elettrica a partire dalla cabina MT/BT fino alle singole utenze realizzata con montanti singoli con possibilità di impiego di sistemi speciali di distribuzione a livelli di tensione non convenzionali*

L'alimentazione delle singole utenze a partire dal quadro generale di impianto avviene mediante circuiti montanti dedicati.

Nel modello proposto di edificio full electric, l'impianto elettrico di unità deve alimentare anche la cucina a induzione che prevede impieghi di potenza dell'ordine dei 4 kW.

Per il dimensionamento delle montanti, considerando unità abitative dell'ordine di 50 – 100 m<sup>2</sup>, si fa riferimento ai valori mostrati in Tabella 18.

**Tabella 18. Tabella per il dimensionamento delle montanti**

	Potenza installata (kW)	C.C. di servizio (p.u.)	Potenza di progetto (kW)
Luce e prese	3	0.3	1
Lavaggi	2	0.5	1

Cucina	4	1	4
AC	2	1	2
C.C. di unità			0.7
Totale			6
Massimo tutto ON			10

Il circuito montante è dimensionato per una potenza di progetto pari a 6 kW.

In casi particolari di contemporaneità con cucina, climatizzazione e entrambi i lavaggiattivi, la potenza può raggiungere i 10 kW.

Il sistema di alimentazione dei circuiti può essere realizzato con:

- circuiti monofase alla tensione di 230 V
- circuiti trifase alla tensione di 400 V
- circuiti mono o trifase a livelli di tensione non convenzionali, per esempio di 950 V

Nel caso di sistema monofase con  $V=230V$  fase – neutro, ogni circuito è costituito da un cavo a 3 conduttori (fase, neutro e conduttore di protezione).

## 4 Interventi di demand side management

### 4.1 Generalità

Il termine *demand side management* (DSM) si riferisce all'implementazione di programmi che modificano la domanda di energia del sistema, ossia, ogni attività che influenza il carico dal lato dell'utenza. Le attività di DSM possono essere dirette ad applicazioni di carico base, intermedio o di picco. Con riferimento alla curva di carico giornaliera, gli obiettivi delle azioni di DSM possono essere:

- *Flexible load shape*: flessibilità della forma della curva di carico;
- *Peak clipping*: riduzione dei picchi di carico;
- *Strategic conservation*: riduzione complessiva della curva di carico (in modo pressoché equamente ripartito);
- *Strategic load growth*: incremento complessivo della curva di carico (in modo equamente ripartito);
- *Valley filling*: incremento delle valli di carico;
- *Load shifting*: spostamento del carico dai picchi alle valli, con riduzione dei picchi e incremento delle valli (in modo da rendere la curva di carico più piatta).

In Figura 44 sono schematizzati i vari obiettivi delle azioni di DSM.



Figura 44. Obiettivi delle azioni di DSM

Una evoluzione della definizione originaria di DSM è il concetto più complesso di *demand response resources* (DRR) che ha come obiettivo principale quello di trasformare l'utenza da utenza passiva a utenza partecipante e attiva nel sistema elettrico.

Le finalità del DRR sono:

- Favorire il bilancio istante per istante tra generazione e carico;
- Fornire servizi ancillari alla rete;
- Favorire benefici economici, ad esempio in caso di prezzi dinamici dell'energia.

Le attività di DRR sono delle alternative interessanti alla gestione dal lato della generazione ai fini del bilanciamento tra generazione e carico e dell'erogazione dei servizi ancillari (ad esempio, possono essere delle alternative economicamente vantaggiose rispetto alla riserva rotante).

Una opportunità di applicazione delle attività di DRR è costituita dall'incremento della penetrazione della generazione da fonti rinnovabili nella rete. Il profilo di generazione da fonti rinnovabili può essere disallineato rispetto alla curva di carico (tipicamente per quanto riguarda la generazione eolica). Ciò introduce nella curva di carico delle ripide rampe di carico in aumento e in diminuzione che influiscono sull'esercizio degli impianti convenzionali. L'applicazione di azioni di DRR consente di mitigare tali rampe e quindi i loro effetti sugli impianti convenzionali e sulla rete.

Nell'ambito dell'uso razionale dell'energia, l'obiettivo delle azioni di DSM o DRR non è necessariamente una diminuzione del quantitativo di energia consumata, bensì una migliore utilizzazione dell'energia stessa, da cui una riduzione dei costi di investimento e di gestione degli impianti di generazione e delle reti elettriche.

Ad esempio, si consideri che i picchi dei consumi vengono soddisfatti da impianti di generazione di picco, mantenuti in stand-by allo scopo di seguire immediatamente la variazione del carico. Tali impianti sono caratterizzati da un basso rendimento e da alti costi operativi ed è quindi auspicabile contenere il loro uso. D'altro canto, il consumo di base è soddisfatto da impianti di generazione di base, di grande taglia, ad alta efficienza e bassi costi operativi, che poco si prestano al funzionamento in regolazione. Una curva di carico più piatta consente quindi un risparmio per i produttori di energia e per i gestori delle reti. Inoltre comporta opportunità di risparmio anche per il cliente, che può ottenere condizioni contrattuali economicamente più vantaggiose.

Per raggiungere una domanda di energia più efficiente, tradizionalmente sono stati identificati alcuni strumenti chiave quali ad esempio:

- Un sistema tariffario che deve incoraggiare un comportamento più responsabile da parte dell'utenza, modificando il programma dei prezzi tenendo conto della possibilità di un consumatore di partecipare al mercato;
- Incentivi per rendere interessante la partecipazione nei programmi di demand side management, ricompensando la partecipazione;
- Accesso alle informazioni che possano permettere l'accesso da parte dei consumatori alle informazioni in tempo reale sul proprio comportamento;
- Educazione dei consumatori cercando di sensibilizzare maggiormente le abitudini riguardo il proprio utilizzo dell'energia elettrica;
- Verifica e visualizzazione che risulta un fattore importante nello sviluppo dei programmi di demand response è la possibilità di valutare e verificare i risultati ottenuti con programmi di demand side management, quindi la realizzazione di infrastrutture di comunicazione.

Il DSM può assumere un ruolo fondamentale anche nella gestione della generazione elettrica da fonti rinnovabili.

L'aggiunta di grandi quantitativi di energia rinnovabile nella rete nazionale infatti, può portare a disturbi sulla rete stessa. Attraverso una gestione programmata della domanda si può bilanciare la produzione da fonti rinnovabili con la richiesta, cercando di far coincidere domanda e produzione.

Un esempio di demand side management, già presente in Italia in ambito residenziale è la tariffazione bioraria. Grazie all'utilizzo di una fascia oraria in cui il costo dell'energia è inferiore rispetto a quella di picco, si tenta di modificare le abitudini degli utenti finali, incentivandoli a spostare i carichi elettrici nelle ore notturne, in cambio di un ritorno economico. Sfruttando tutte queste azioni, la domanda elettrica non viene più gestita in maniera passiva, adattando la produzione alla richiesta, ma in maniera attiva, cercando

di bilanciare la domanda ad una produzione sempre più efficiente. Diventa quindi protagonista l'utente finale, a cui spetta il compito di variare la modalità d'uso dell'energia, in modo da aumentarne l'efficienza. E' fondamentale quindi un sistema di controllo che permetta di monitorare in tempo reale i consumi e la produzione di energia, in modo da permettere ai clienti di contribuire attivamente alla riduzione dei picchi di domanda.

La tariffazione bioraria non sembra fornire stimoli importanti negli utenti residenziali, soprattutto a causa dello scarto ridotto in termini di centesimi di euro tra la tariffa di punta e la tariffa serale. Inoltre negli ultimi periodi l'eccessiva generazione da fonti rinnovabili sta creando fenomeni caotici anche nella tariffazione multioraria.

Sono già diffuse varie modalità di incentivazione per l'utente privato e per il prossimo futuro si prevede che nel libero mercato energetico i fornitori di energia elettrica andranno a proporre ai loro clienti contratti sempre più innovativi basati sul real time pricing in modo da poter ottimizzare sempre di più il comportamento dei clienti.

In questo scenario diventa sempre più importante prevedere modelli gestionali che consentano agli utenti finali di poter ottimizzare i loro profili. A tal fine appare necessario una ristrutturazione del sistema elettrico prevedendo il modello di microsistema aggregato sul nodo di carico a livello di edifici. Nella micro grid di edificio svolge un ruolo fondamentale la presenza di un sistema di metering capillare, che tenga sotto controllo istante per istante, consumi e produzione, e sia in grado di indirizzare i consumi del cliente al momento di massima efficienza.

In conclusione sembra che le tecnologie siano ormai mature per completare quel complesso processo di smartizzazione delle reti. L'ultimo tassello è la responsabilizzazione degli utenti finali che aggregandosi in centri di assorbimento a livello di edificio diventeranno i prosumer delle reti del futuro [RIFERIMENTO ECODESIGN OF EVER NET LOAD].

#### 4.2 Obiettivi del DSM

Nella visione proposta dal modello di "micro grid completa" per gli edifici NZEB/MURB, la presenza di generazione locale combinata con la gestibilità e flessibilità della domanda aggregata a livello di edificio, favoriscono l'implementazione di strategie di DSM finalizzate all'ottimizzazione dei flussi energetici, in un'ottica fortemente innovativa poiché gestita dal punto di vista dell'utenza.

In uno scenario futuribile di prezzo dinamico dell'energia, tali strategie potranno perseguire ulteriori funzioni obiettivo legate alla economicità dell'approvvigionamento energetico.

In generale, i diversi attori del sistema elettrico, in particolare il distributore, il fornitore ed il cliente finale hanno alcuni obiettivi da perseguire con le logiche di DSM, che sono riassunti nella Tabella 19.

**Tabella 19. Obiettivi del DSM per i vari attori del sistema elettrico**

Obiettivi del DSM	Fornitore	Distributore	Utente finale
Aumentare il numero di utenti (inteso come valore di potenza complessivo) collegabili a una linea elettrica	X	X	
Risparmiare sul costo di acquisto/produzione dell'energia elettrica senza diminuire la quantità di energia venduta	X		
Ritardare gli investimenti sulla propria rete di distribuzione		X	
Avere la possibilità di controllare il carico in caso di emergenza		X	
Incrementare il livello di qualità che gli può permettere di rispettare i limiti imposti dall'autorità e differenziare il servizio offerto ai clienti finali		X	
Risparmiare sul costo della bolletta elettrica			X
Non vuole alterare troppo le proprie abitudini e se lo fa questo deve in qualche modo essergli riconosciuto economicamente			X



Desidera essere alimentato sempre anche quando la rete ha dei problemi (black-out)			X
Ridurre le emissioni inquinanti	X	X	X
Aumentare la sicurezza degli utenti e degli operatoti	X	X	X

Il fornitore desidera risparmiare sul costo di acquisto/produzione dell'energia elettrica senza diminuire la quantità di energia venduta e per raggiungere questo obiettivo cerca di avere dei carichi elettrici che siano coerenti con le risorse produttive. Senza considerare le fonti rinnovabili fotovoltaiche e eoliche che possono modificare sensibilmente il diagramma di carico che il distributore desidera avere, si può affermare che una centrale elettrica di produzione dell'energia, indipendentemente dalla tecnologia impiegata, funziona meglio con profili di generazione costanti o comunque poco variabili al fine di massimizzare il rendimento del processo produttivo. Detto ciò il miglior profilo di carico può essere coerente con un profilo di generazione costante o poco variabile. Nel breve periodo e considerando che non tutti i clienti possono alterare il loro profilo di assorbimento, si potrebbe pensare a un profilo ideale associato esclusivamente a parametri economici di acquisto dell'energia elettrica da parte del distributore. Inviando all'utente un profilo ideale e avendo la certezza che il cliente rispetti tale profilo i costi di fornitura sarebbero minori e tale risparmio si rifletterebbe anche sull'utente finale come vantaggio economico.

Il distributore desidera aumentare il numero di utenti (inteso come valore di potenza complessivo) collegabili a una linea elettricacercando di avere dei clienti che limitino la potenza massima assorbita dalla rete del distributore. Ciò può essere ottenuto producendo localmente la potenza in eccesso che l'utente finale desidera, non alimentando alcuni carichi del cliente oppure controllando la potenza elettrica assorbita dai differenti carichi del cliente. Indipendentemente dalla strategia utilizzata dal cliente, che in funzione dello stato tecnologico utilizzato può essere più o meno sofisticata, quello che il distributore desidera è sostanzialmente una funzione di *pick shaving*.

Questo aspetto è importante al fine di evitare di dover incrementare la potenza di linee esistenti (centri urbani) dove l'aumento di carico di picco richiesto dal cliente finale si può scontrare con la potenza trasportabile dalla linea elettrica esistente che talvolta può aver già raggiunto il suo limite termico.

Il distributore desidera ritardare gli investimenti sulla propria rete di distribuzione con campagne di DSMcercando di avere dei carichi elettrici che limitino la potenza assorbita dalla rete del distributore. Anche in questo caso quello che il distributore desidera è sostanzialmente una funzione di *pick shaving*, però anche una funzione di *load shedding* o di *load shifting*potrebbero essere utili allo scopo. Il DSM è infatti un programma che mira al miglior sfruttamento delle risorse esistenti.

Questo aspetto è importante per poter sfruttare maggiormente le risorse esistenti. Attualmente il distributore realizza le proprie reti (linee elettriche, trasformatori ecc...) progettando i diversi componenti al valore di potenza che esiste per almeno 100 ore (progetto della linea a 100 ore), questo vuol dire che per la maggior parte del tempo la linea trasporta una potenza inferiore a questo valore. Avere dei diagrammi di carico più costanti o comunque variabili in modo desiderato permette di sfruttare le reti elettriche esistenti in prossimità del loro limite termico e permettere di eguagliare il carico elettrico alla potenza elettrica disponibile.

Il distributore desidera avere la possibilità di controllare il carico in caso di emergenza. Questa funzione è molto simile alla funzione precedente, la differenza è associata che questa funzione viene svolta in emergenza e quindi in seguito alla verifica di una criticità nella rete e prima di andare nella condizione di black-out. Si ottiene sempre limitando la potenza elettrica assorbita dalla rete del distributore e questa funzione è prevalentemente una funzione di *load shedding* di *pick shaving*, non è di *load shifting*in quanto situazione transitoria e momentanea. Questo aspetto è importante per poter sfruttare migliorare il livello di qualità dell'utente, in particolare la continuità del servizio.

Il distributore desidera incrementare il livello di qualità che gli può permettere di rispettare i limiti imposti dall'autorità e differenziare il servizio offerto ai clienti finali. Questa è una funzione necessaria per rispettare i limiti imposti e nuova per quanto riguarda la proposta commerciale che il distributore potrebbe proporre ai clienti finali.

Al fine di incrementare il livello di qualità attualmente il distributore è costretto a modificare la struttura di rete (es. doppia alimentazione del carico). Se il livello raggiunto non soddisfa il cliente si hanno poi delle situazioni di contenzioso dalle quali non sempre lo stesso esce senza colpe, in ogni caso la soddisfazione del cliente finale non viene raggiunta.

Avere la possibilità di migliorare notevolmente il livello di qualità a costi ridotti può essere quindi un plus che può portare a maggiori introiti da parte del distributore e maggiori soddisfazioni da parte del cliente finale.

Il cliente finale desidera risparmiare sul costo della bolletta elettrica. Ovviamente al fine di diffondere qualunque soluzione tecnica gli attori in gioco devono vedere dei vantaggi.

Se questi sono anche economici è facile valutare i tempi di ritorno degli investimenti.

La realizzazione di micro grid con fornitura unica in MT e sistema di generazione locale allacciata alla fornitura consente di ottenere importanti risparmi economici. L'implementazione di un sistema di controllo avanzato per la gestione dei carichi termici ed elettrici consente di ottenere ulteriori risparmi economici con il correlato miglioramento del comfort delle varie utenze.

Il cliente finale non vuole alterare troppo le proprie abitudini e se lo fa questo deve in qualche modo essergli riconosciuto economicamente. La modifica delle abitudini del cliente finale deve in qualche modo portare a dei vantaggi (se economici è meglio). In linea di massima si può affermare che se il cliente potrebbe essere poco interessato a partecipare al programma di DSM nel caso in cui non abbia dei riconoscimenti economici che siano di incentivazione.

Il cliente finale desidera essere alimentato sempre anche quando la rete ha dei problemi (black-out). Al fine di svolgere questa funzione è necessario un sistema di generazione locale eventualmente abbinato ad un sistema di accumulo locale (DDES Domestic Distributed Energy Storage).

Per l'ambiente si devono ridurre le emissioni inquinanti. Ciò è possibile integrando maggiormente le fonti rinnovabili e permettendo alle centrali tradizionali di produrre con profili di carico più costanti e con rendimenti alti.

### *4.3 Controllo del carico elettrico nell'architettura di rete proposta*

La ricerca condotta ha preso in considerazione le seguenti possibili strategie di gestione dei carichi e dei conseguenti flussi energetici.

- T1) Controllo delle temperature di setpoint a livello di centrale termica operando forzature sulla temperatura del boiler di accumulo (controllo T1, accumuli termici centralizzati).
- T2) Controllo del riscaldamento a livello di singole unità o di gruppi di unità, operando forzature sui setpoint dell'ordine di  $\frac{1}{2}$  o 1 grado (controllo T2, accumuli termici distribuiti).
- T3) Controllo del riscaldamento a livello di singole unità o di gruppi di unità, operando preriscaldamenti passando dalla temperatura economy alla temperatura di comfort o precomfort. Tale misura oltre ad avere benefici nella gestione del profilo elettrico, offre benefici in termini di comfort generando preriscaldamenti degli ambienti.
- SA) Controllo dei lavaggi elettrici che operano nelle singole unità: lavatrice e lavastoviglie (Controllo SA). A tal fine il modello proposto prevede l'impiego di lavatrici e lavastoviglie smart comunicanti.

Ulteriori margini di controllo, presi in considerazione ma non ancora implementati riguardano:

- Controllo dei carichi elettrici che possono essere ciclati con logiche per ridurre le punte di assorbimento.
- Controllo dei ventilatori di aspirazione per la ventilazione meccanica degli ambienti.
- La gestione dell'eventuale sistema di accumulo elettrico distribuito a livello di unità o gruppi di unità.

### *4.4 Indicatori di prestazione energetica dei controlli proposti*

E' stato valutato l'impatto delle 4 strategie di controllo proposto, per la tipologia di edificio considerata attraverso alcuni indicatori prestazionali suggeriti:

- $\Delta Pa$  : variazione della potenza media giornaliera rispetto al profilo non controllato;
- $\Delta Pp$  : variazione della potenza di picco (su intervalli di 15 minuti) rispetto al profilo non controllato;
- $Pa/Pp$ : rapporto tra potenza media e potenza di picco;
- $\Delta E_G$ : variazione dello scambio di energia con la rete rispetto al profilo non controllato;
- $EH$  : ore equivalenti, pari al rapporto tra l'energia giornaliera assorbita dalla rete e la potenza di picco;
- $SCR$ : quota di autoconsumo, pari al rapporto tra l'energia giornaliera autoconsumata e l'energia generata;
- $ES\%$ : massimo valore di energia differibile in un giorno.

#### 4.5 Impianto termico

Il serbatoio di accumulo termico accoppiato al generatore termico e i boiler di preparazione e accumulo dell'acqua calda sanitaria costituiscono sistemi di accumulo di energia sotto forma di energia termica. Allo stesso modo, la capacità termica dell'edificio e l'inerzia termica dei pannelli radianti, abbinati alla elevata resistenza termica dell'edificio, offrono ulteriori opportunità di accumulo di energia termica, consentendo notevoli margini di controllo dell'impianto a parità di comfort.

L'obiettivo generale di un building management system (BMS) è la gestione dei sistemi HVAC in modo da garantire un livello di comfort accettabile per gli occupanti e un esercizio corretto dei sistemi [16]. Un BMS diviene BEMS se è in grado di ottimizzare la domanda di energia [17,18,19]. Nell'approccio proposto, si tratta di BEMS avanzato in quanto punta a ottimizzare la domanda di energia elettrica al punto d'interfaccia col DSO, tenendo in considerazione la generazione locale. Gli obiettivi del BEMS sono:

- Ottimizzare il profilo globale netto al POC;
- Ottimizzare  $SCR$ ;
- Minimizzare  $Pp$ ;
- Minimizzare il costo dell'energia;
- Ottimizzare la prestazione di una stazione di ricarica di veicoli elettrici, in uno scenario futuro.

Il BEMS può agire su:

- Scheduling degli elettrodomestici smart;
- Sistemi di riscaldamento (sfruttando l'inerzia termica dovuta all'edificio e al sistema stesso)

La Figura 45 illustra il flusso logico delle informazioni gestite dal BEMS.

Il sistema di metering SMS monitora in tempo reale la potenza elettrica assorbita dall'edificio  $p(t)$ .

Il sistema HES monitora in tempo reale la temperatura interna e la presenza di utenti in ciascuna unità.

Il sistema BES monitora in tempo reale la temperatura esterna e le previsioni meteo riferite in particolare alla temperatura prevista e alle condizioni di soleggiamento.

Il sistema HBES di edificio è capace di controllare in tempo reale i valori di:

- $T_B$  set point di ciascun boiler, del riscaldamento e dell'acqua calda sanitaria
- $T_C$  set point in modalità comfort di ciascuna unità immobiliare;
- $T_E$  set point in modalità economy di ciascuna unità immobiliare;
- $T_S$  effettivo set point di ambiente di ciascuna unità, uguale a economy ( $T_S=T_E$ ) o comfort ( $T_S=T_C$ )

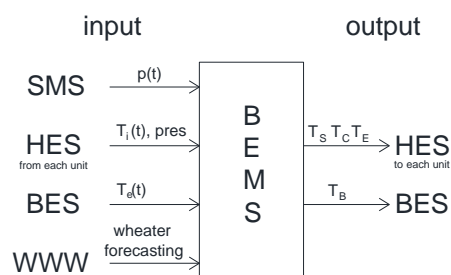


Figura 45. Schema a blocchi dei flussi di informazioni e forzature del BEMS.

Il sistema HES è capace di gestire anche in modo remoto attraverso l'interfaccia utente HIS:

- I valori di setpoint economy e comfort di ciascuna unità, mediante la forzatura in un range di +/- 2 °C;
- Il valore di setpoint  $T_S$  di ogni unità uguale a economy ( $T_S=T_E$ ) o comfort ( $T_S=T_C$ ).

Un sistema di gestione BEMS tradizionale opera settando:

$T_{BN}$  temperatura di funzionamento normale del boiler/puffer;

$T_{CN}$  temperatura di setpoint negli ambienti in caso di presenza nell'unità immobiliare (comfort mode);

$T_{EN}$  temperatura di setpoint negli ambienti in caso di assenza nell'unità immobiliare o in orario notturno (economy mode).

#### 4.5.1 Accumulo termico centralizzato – Controllo T1

Attraverso la gestione dei setpoint dei sistemi di accumulo è possibile sfruttare il sistema termico come volano energetico di elettricità.

Il sistema di metering M rileva i valori di assorbimento e generazione elettrica di edificio.

Su richiesta del BMS (Building Management System) è possibile modificare i setpoint dei serbatoi di accumulo per modulare la potenza elettrica assorbita dal sistema termico.

In questo modo il sistema termico si comporta come un volano di elettricità:

- Consuma energia elettrica in caso di esubero di generazione o in caso di basso carico proveniente dalla rete del DSO (setpoint boiler elevato),
- Accumula energia elettrica, scaricando l'energia termica in caso di elevato carico proveniente dalla rete del DSO (setpoint boiler ridotto).

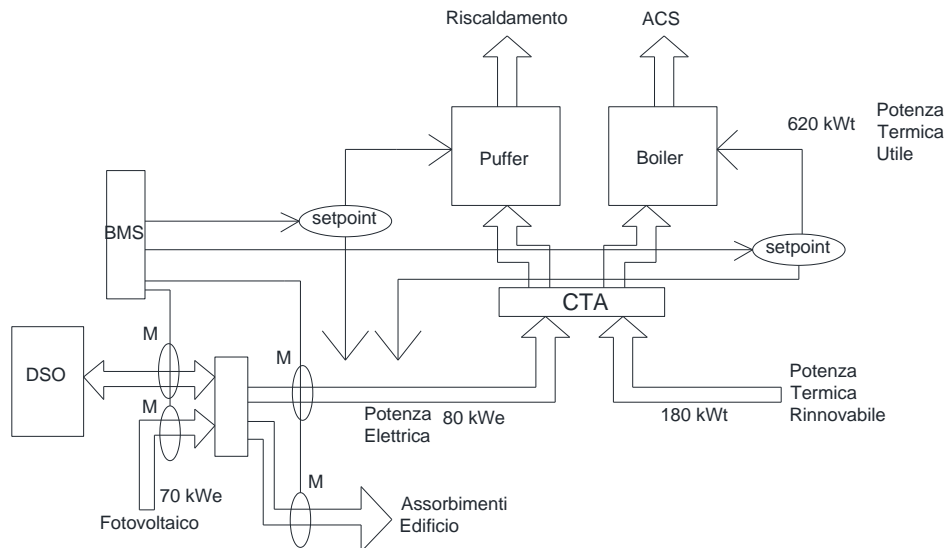


Figura 46. Schema del flusso di informazioni per il controllo T1.

È possibile ridurre il picco di carico elettrico in caso di carico globale elevato, o accumulare energia in caso di carico globale ridotto o negativo, forzando i set point  $T_B$  dei boiler centrali. Ossia:

$$\begin{aligned} \text{se } p(t) > P_{M1} &\rightarrow \text{BEMS forza } T_B \text{ da } T_{BN} \text{ a } T_{BL} \\ \text{se } p(t) < P_{m1} &\rightarrow \text{BEMS forza } T_B \text{ da } T_{BN} \text{ a } T_{BH} \end{aligned}$$

con:

$p(t)$  carico dell'edificio al POC;

$P_{M1}$  valore soglia di massima potenza;

$P_{m1}$  valore soglia di minima potenza;

$T_{BL}$  valore inferiore di temperatura del boiler;

$T_{BH}$  valore superiore di temperatura del boiler.

#### 4.5.2 Accumuli termici distribuiti. Controllo T2

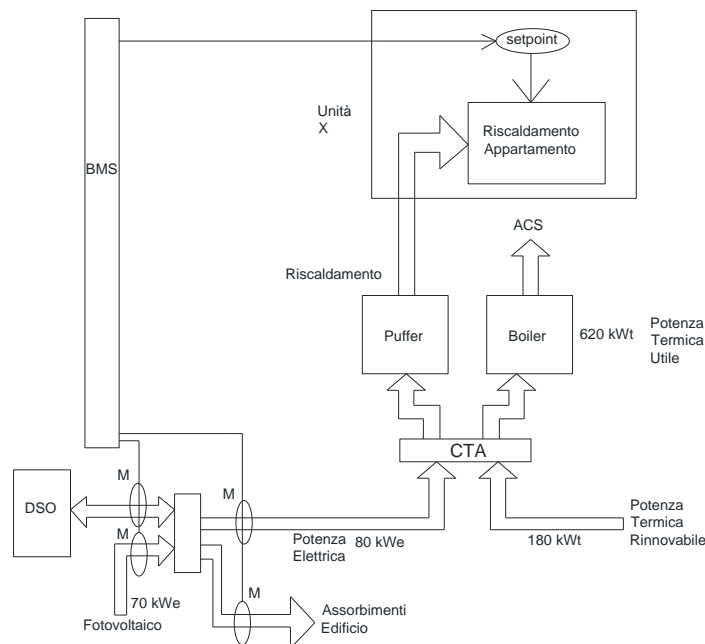
Le elevate prestazioni di isolamento dell'edificio abbinate al sistema di diffusione del calore a pavimento a bassa entalpia costituiscono di fatto un sistema di accumulo naturale che si presta ad essere sfruttato nelle logiche gestionali.

Un sistema di metering M rileva i valori di assorbimento e generazione elettrica di edificio.

Su richiesta del BMS (Building Management System) è possibile modificare i setpoint di temperatura delle singole unità, sfruttando l'inerzia termica del sistema.

In questo modo il sistema termico si comporta come un volano di energia:

- Consuma energia in caso di esubero di generazione elettrica o in caso di basso carico proveniente dalla rete del DSO (setpoint temperatura ambiente elevato),
- Accumula energia, scaricando l'energia termica in caso di elevato carico proveniente dalla rete del DSO (setpoint temperatura ambiente ridotto).



**Figura 47. Schema del controllo T2.**

Tale metodo di accumulo energetico è possibile per gli NZEB e per tutti gli edifici ad elevato isolamento termico. Negli edifici tradizionali, l'accumulo di energia termica in genere comporta un incremento del fabbisogno energetico complessivo che dovrebbe essere considerato nella valutazione energetica globale.

È possibile ridurre il fabbisogno energetico in caso di carico globale elevato, o accumulare energia in caso di carico globale basso (o negativo) forzando i set point  $T_C$  dei termostati locali:

$$\begin{aligned} \text{se } p(t) > P_{M2} &\rightarrow \text{BEMS forza } T_C \text{ da } T_{CN} \text{ a } T_{CL} \\ \text{se } p(t) < P_{m2} &\rightarrow \text{BEMS forza } T_C \text{ da } T_{CN} \text{ a } T_{CH} \end{aligned}$$

con:

$P_{M2}$  valore soglia di massima potenza;

$P_{m2}$  valore soglia di minima potenza;

$T_{CL}$  valore inferiore di setpoint in modalità comfort;

$T_{CH}$  valore superiore di setpoint in modalità comfort.

$T_{CL}$  e  $T_{CH}$  possono variare da 0.5 a 1 °C, in base alla temperatura esterna  $T_e$  e alla stagione, in modo da evitare un impatto negativo sul comfort dell'utente.

#### 4.5.3 Preriscaldamento. Controllo T3

L'inerzia termica degli ambienti, il livello di isolamento e le caratteristiche del sistema di diffusione del calore a pavimento, favoriscono l'impiego di logiche di controllo correlate ai tempi di accensione e spegnimento.

È possibile ridurre il carico globale, attraverso una programmazione (scheduling) della commutazione della modalità di esercizio dell'ambiente, da economy ( $T_{EN}$ ) a pre-comfort ( $T_{PN}$ ) di prima mattina e in caso di unità non occupate prima dell'orario di rientro serale presunto.

Le simulazioni hanno mostrato che tale controllo è particolarmente efficiente negli orari dei pasti, in modo da evitare contemporaneità tra l'elevato carico della cucina e gli altri carichi.

Inoltre, tale controllo migliora il comfort degli utenti in quanto riduce il tempo di riscaldamento da  $T_{EN}$  a  $T_{CN}$  in corrispondenza del rientro serale.

L'efficacia del controllo può essere migliorata nel corso della durata di vita dell'edificio, utilizzando dati misurati resi disponibili dal BEMS stesso. Il BM può valutare gli effettivi profili di carico e migliorare i controlli basandosi sui dati effettivamente misurati.

$T_{PN}$  è il setpoint di temperatura operativa di pre-comfort, inferiore a  $T_{CN}$  ma superiore a  $T_{EN}$ .  $T_{PN}$  può variare in base alla temperatura esterna  $T_e$ , in modo da ottimizzare il comfort e la gestione energetica.

#### 4.6 Elettrodomestici. Controllo SA.

Per il controllo dei carichi elettrici delle singole unità è necessaria la presenza di elettrodomestici intelligenti ovvero capaci di comunicare lo stato e capaci di essere attivati da remoto tramite un segnale ricevuto dal canale di comunicazione.

Gli elettrodomestici previsti controllati sono:

- Lavatrice (washing machine identificata con la sigla WM),
- Lavastoviglie (dishwasher identificata con la sigla DW).

Dal momento che attualmente non sono disponibili commercialmente elettrodomestici comunicanti con i principali protocolli domotici e di building automation come ad esempio Konnex, la soluzione prevede che gli elettrodomestici comunichino la rete wifi di unità fino al router di unità e successivamente fino al cloud di gestione della casa produttrice degli elettrodomestici. La comunicazione bidirezionale tra elettrodomestici e BEMS avviene a livello di internet tra il cloud degli elettrodomestici e il BEMS dell'edificio. A tal proposito è necessario realizzare o adattare una piattaforma APP di gestione dedicata.

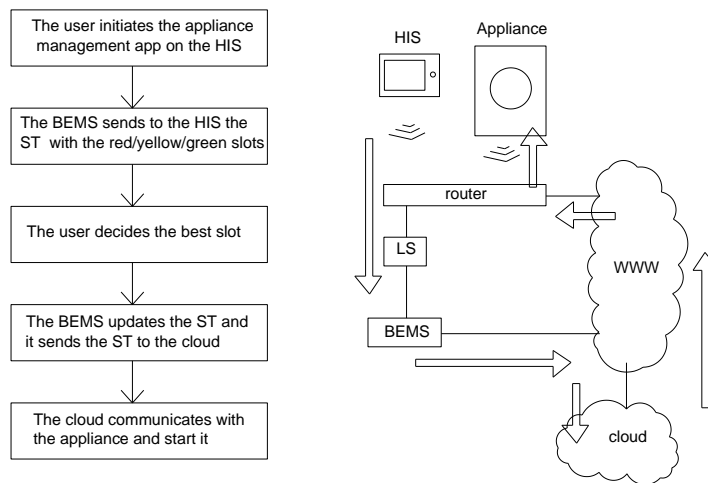
Per gli aspetti gestionali si possono prevedere modelli di business a gettoni, prevedendo una tariffa flat per i servizi energetici e gettoni spendibili per i cicli di lavaggio. I gettoni sono forniti in un certo numero al mese e sono accumulabili tramite utilizzo virtuoso della macchina (in fasce verdi). Si analizzeranno possibili logiche gestionali che:

- operano il controllo in modo manuale, indicando la fascia oraria più propizia all'utente tramite app o altro sistema;
- operano il controllo in modo automatico, attraverso un sistema di controllo centralizzato che comunica direttamente con l'elettrodomestico.

La lavastoviglie sarà prevista alimentabile anche con acqua calda, in modo tale da avere un grado di libertà in più nelle politiche gestionali.

Il progetto di realizzazione del caso applicativo descritto nei capitoli successivi prevede il coinvolgimento di un produttore di elettrodomestici e l'adattamento di una APP già presente alle funzioni necessarie per la comunicazione con il BEMS e la domotica locale, con una sezione apposita per la supervisione e la gestione dei lavaggi.

Gli elettrodomestici che più si prestano alle azioni di DSM, come detto, sono le lavastoviglie DW e le lavatrici WM, in quanto l'obiettivo dell'utente è quello di avere un servizio fornito entro un orario desiderato e, garantito questo, esistono margini di tempo per il controllo del dispositivo.



**Figura 48. Schema del controllo SA**

È possibile gestire la domanda globale dell'edificio attraverso una programmazione (scheduling) degli orari di avviamento degli elettrodomestici smart, in base alla volontà degli utenti ma tenendo conto di funzioni obiettivo.

L'utente interagisce con l'elettrodomestico smart attraverso HIS. Il BEMS riceve una richiesta di un nuovo ciclo dal supervisore locale (LS) connesso all'HIS. Quindi il BEMS fornisce una scheduling timetable (ST) con un'indicazione del costo effettivo del ciclo (indicato in rosso, giallo o verde).

L'utente decide l'orario migliore a seconda del costo effettivo e delle proprie necessità, impostando l'orario in cui il ciclo DW o WM deve essere completato.

Le regole adottate sono:

- Il ciclo DW deve essere terminato entro un orario x
- Il ciclo WM deve essere completato in corrispondenza di un orario y (ciò al fine di evitare che il bucato rimanga all'interno della lavatrice)
- La partenza di un ciclo può essere ritardata, anticipata secondo le regole suddette
- Un ciclo, una volta avviato, non può mai essere interrotto

**Tabella 20. Regole per il controllo dei lavaggi**

<b>Elettrodomestico</b>	<b>Sigla</b>	<b>Regola del controllo</b>
Lavastoviglie	DW	Il ciclo deve essere terminato <b>ENTRO</b> un orario x
Lavatrice	WM	Il ciclo deve essere terminato <b>IN CORRISPONDENZA</b> di un orario y
Nota. Una volta avviato il ciclo non è mai interrotto		

Il BEMS schedula (ex-ante) l'orario di avviamento dell'elettrodomestico sulla base della scelta dell'utente e aggiorna la scheduling timetable ST di tutti gli elettrodomestici dell'edificio. Il BEMS inoltre invia periodicamente la ST al cloud, il quale acquisisce la ST aggiornata e gestisce gli orari di avviamento secondo la ST stessa.

Il processo segue lo schema seguente:

1. L'utente tramite la APP seleziona l'orario di fine ciclo desiderato
2. Il BEMS decide l'orario di partenza sulla base del carico reale e delle altre prenotazioni
3. Il BEMS carica l'orario di partenza sulla scheduling timetable ST
4. IL BEMS invia ciclicamente la ST al cloud
5. Il cloud acquisisce la ST aggiornata

6. Il cloud lancia il segnale di avvio che raggiunge l'elettrodomestico

Il BEMS può operare anche in tempo reale, in modo da evitare improvvisi sovraccarichi dell'edificio o improvvise variazioni della generazione fotovoltaica. Inoltre può operare in modo tale da evitare sovraccarichi locali per ogni linea di alimentazione di una unità. A tale fine con una data periodicità, il BEMS aggiorna la ST mantenendo le regole di fine orario impostate dagli utenti e potendo decidere di anticipare o ritardare le partenze.

In Figura 49 si riporta lo schema d'impianto per il dialogo tra utente ed elettrodomestici. Inoltre si è ipotizzata l'adozione di un'app che consenta agli utenti di gestire il processo in modo funzionale via smartphone o tablet. In Figura 50 si riporta uno schema concettuale del funzionamento del controllo SA tramite app.

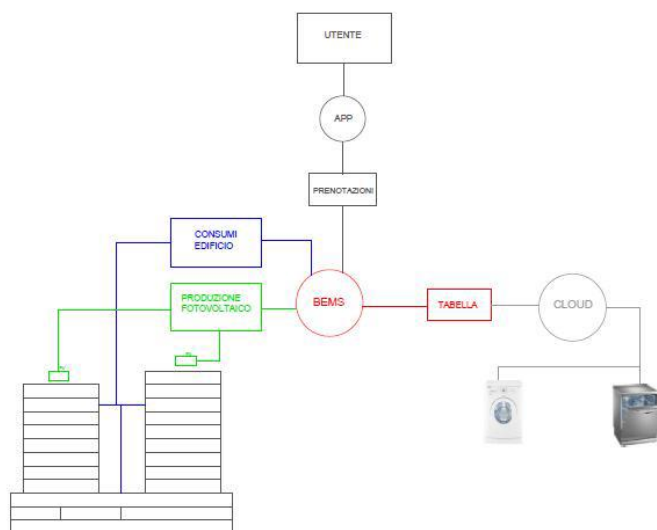


Figura 49. Schema d'impianto per il controllo SA

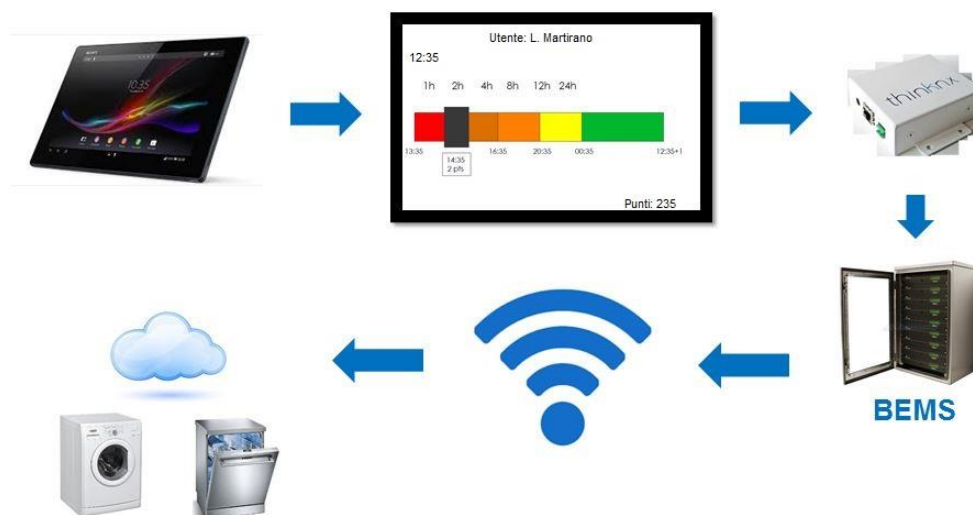


Figura 50. Schema concettuale di funzionamento del controllo SA via APP

Per la scelta dell'orario di fine ciclo l'utente ha a disposizione una sezione della APP che gestisce l'appartamento.

Il principio che ispira questo tipo di controllo è mantenere l'utente al centro delle scelte anzi migliorando il comfort e la comodità di utilizzo degli elettrodomestici.



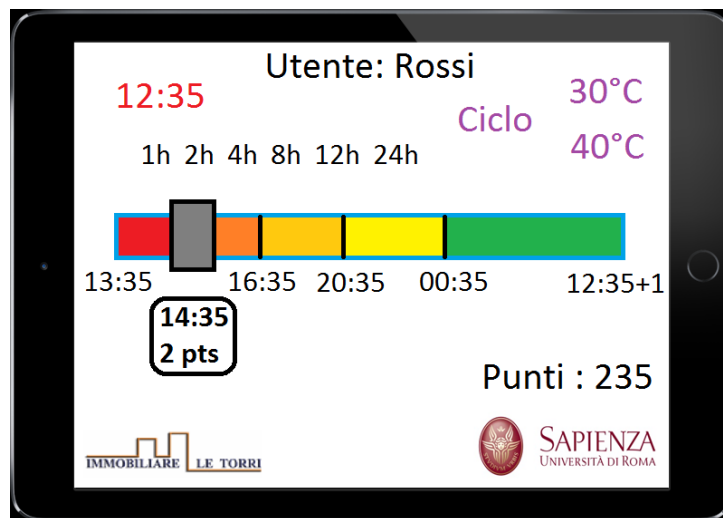
**Tabella 21. Gestione dei lavaggi**

	Prima	Dopo	Note
Lavatrice	L'utente sceglieva l'ora di inizio del ciclo a volte senza sapere neanche la durata	L'utente sceglie l'ora IN CUI il ciclo terminerà	Ai fini della migliore qualità del risultato è importante che la fine del ciclo coincida con lo svuotamento della lavatrice
Lavastoviglie	L'utente sceglieva l'ora di inizio del ciclo a volte senza sapere neanche la durata	L'utente sceglie l'ora ENTRO CUI il ciclo terminerà	Non è importante che la fine del ciclo coincida con lo svuotamento della lavatrice

#### 4.6.1 App per il controllo SA

L'app di gestione dei lavaggi deve essere molto semplice ed intuitiva. Sarebbe opportuno che fosse integrata nella app gestionale dell'appartamento.

Una ipotesi di rappresentazione grafica è riportata in Figura 51. Una barra con l'orario in diversi colori riporta i momenti ottimali di fine ciclo. L'utente tramite un cursore decide l'ora di fine lavaggio e la tipologia di ciclo. L'app mostra i punti guadagnati attraverso la scelta.



**Figura 51. App di gestione dei lavaggi.**

L'app può essere inserita nell'ambito dell'interfaccia gestionale d'appartamento (HSI) come mostrato in Figura 52.



**Figura 52. App di gestione dell'appartamento (Thinknx)**

Il meccanismo di incentivazione si basa su l'assegnazione di un punteggio per ogni lavaggio differito nel tempo, direttamente proporzionale al tempo in cui sarà possibile gestire il ciclo. Inoltre è previsto un bonus per quando si acconsente ad attivare istantaneamente la lavatrice, detto bonus di autoconsumo e pari a 10 punti. Ogni mese vengono concessi dei benefit agli utenti in base ai punti accumulati. E' possibile scegliere tra uno sconto sul canone mensile, in caso di tariffa flat (tutto compreso) o un premio da catalogo.

## 5 Modello simulatore di edificio “Building Simulator”

In questo capitolo si presenta la modellizzazione del simulatore di edificio (“Building Simulator”). L’elemento innovativo rispetto ai programmi esistenti sta nel fatto che il programma presentato non è un semplicemente un simulatore energetico al pari dei prodotti esistenti, ma intende specializzarsi in verifiche di controlli BEMS. Un simulatore di edificio di tipo usuale dà come output potenza ed energia associate al comportamento energetico dell’edificio, mentre il simulatore oggetto del presente lavoro consente di intervenire sul controllo variando i parametri che costituiscono i set-point e le variabili reali in campo e restituisce come output l’impatto dei parametri sul comportamento energetico e quindi sui consumi e sulla prestazione energetica.

Per una data giornata, il modello analizza:

- Il profilo di carico termico individuale di ciascuna unità, in base a un modello termico dell’unità
- Il comportamento della centrale termica (pompa di calore, boiler, sistema geotermico etc.) e conseguentemente il profilo di carico elettrico per il riscaldamento
- Il profilo di carico elettrico individuale di ciascuna unità
- Il profilo di generazione fotovoltaica
- L’aggregazione dei precedenti profili

Il modello si basa su un approccio statistico per valutare la presenza e i comportamenti degli utenti. L’obiettivo del modello è la valutazione dell’impatto di ogni singola strategia BEMS proposta agli autori ai fini della gestione degli elettrodomestici smart e dell’impianto termico.

### 5.1 Modello elettrico dell’edificio

Per la modellizzazione del carico elettrico dell’edificio si è utilizzato l’approccio cosiddetto “bottom-up approach”. Secondo tale approccio, il comportamento elettrico di una struttura residenziale, espresso attraverso dei diagrammi di carico giornalieri, è determinato ricostruendo il comportamento degli occupanti dell’abitazione nei confronti dell’utilizzo dei carichi elettrici.

La modellizzazione del carico elettrico è stata svolta in due fasi. Nella prima fase viene modellizzata la curva di carico di una singola unità abitativa, ipotizzando due profili diversi, basati sulle diverse abitudini degli inquilini. Nella seconda fase, attraverso l’aggregazione statistica delle unità abitative dell’edificio, si modella la curva di carico dell’intero edificio.

#### 5.1.1 Carico elettrico dell’unità abitativa

In un edificio generico, è possibile suddividere i carichi presenti in funzione del controllo che è possibile applicare:

- **Carichi non controllabili:** carichi per i quali non è possibile realizzare una strategia di controllo, come per esempio la temporizzazione, o mantenere l’assorbimento di potenza entro soglie stabilite. Tali carichi dipendono esclusivamente dalle abitudini e dalla sensibilità degli utenti.
- **Carichi regolabili:** carichi per i quali è possibile prevedere sia una temporizzazione nell’avvio del ciclo sia l’interruzione del ciclo stesso considerando delle regole che non ne pregiudichino il comfort.

Tali carichi possono essere ulteriormente suddivisi in base alle categorie illustrate in Tabella 22.

**Tabella 22. Suddivisione dei carichi elettrici**

Categoria di carico	Caratteristiche del carico	Esempi
Non controllabili	Tali carichi dipendono fortemente dalle abitudini degli utenti e quindi nessuna strategia di controllo può essere implementata	Illuminazione, prese a spina etc.
Programmabili	Tali carichi dipendono dalle abitudini degli utenti, tuttavia l’orario di attivazione può essere gestito dal BEMS. Il controllo può forzare l’istante di attivazione del ciclo, introducendo un tempo di ritardo, purché	Lavatrice, lavastoviglie

	garantisca il termine del ciclo senza interruzioni.	
Controllabili	Tali carichi possono essere fatti funzionare e controllati dal BEMS senza pregiudicare il comfort degli utenti, all'interno di alcuni limiti, sfruttando ad es. l'inerzia termica del sistema	Riscaldamento, frigorifero

Inoltre, in base alla tipologia di funzionamento del carico possiamo inoltre distinguere:

- **Carichi giornalieri**, il cui funzionamento può essere caratterizzato secondo un profilo su base giornaliera (frigo, illuminazione, ecc.)
- **Carichi orari**, il cui funzionamento può essere caratterizzato attraverso un ciclo su base oraria (lavatrice, lavastoviglie, televisore, ecc.)

**Tabella 23. Carichi elettrici giornalieri e orari**

<b>Carichi giornalieri (Daily)</b>	Non controllabili	$P_D$	
<b>Carichi orari (Hourly)</b>	Non controllabili	$P_{HUN}$	$P_H$
	Regolabili	$P_{HC}$	

La potenza elettrica istantanea dell'unità abitativa è data dalla somma delle potenze istantanee dei singoli carichi giornalieri, orari non controllabili e orari regolabili:

$$P_{E,U}(t) = P_D(t) + P_{HUN}(t) + P_{HC}(t) \quad [kW]$$

in cui:

$P_{E,U}(t)$  potenza istantanea della singola unità in kW

$P_{D,i}(t)$  potenza istantanea dei carichi giornalieri in kW

$P_{HUN,i}(t)$  potenza istantanea dei carichi orari non controllabili in kW

$P_{HC,i}(t)$  potenza istantanea dei carichi orari regolabili in kW

Per la definizione del profilo giornaliero si è scelto un approccio vettoriale, come segue: Si suddivide la giornata in 96 intervalli da 15 minuti l'uno, indicati con la lettera "q" (quarter). Ciascun intervallo è caratterizzato da un valore di potenza costante, pari al valore della potenza media assorbita nell'intervallo stesso. La potenza del singolo carico nell'intervallo q è data dalla potenza media, calcolata attraverso la potenza nominale ed i coefficienti di utilizzazione e di contemporaneità:

- il coefficiente di utilizzazione (*c.u.*), riduttivo della potenza di targa del singolo utilizzatore, in relazione al suo servizio intermittente o al suo eventuale sovradimensionamento;
- il coefficiente di contemporaneità (*c.c.*), riduttivo della potenza complessiva di più utilizzatori, in relazione al loro funzionamento non contemporaneo.

$$P_{E,i}(q) = P_{n,i} \cdot c.u. \cdot c.c. \quad [kW]$$

con:

$P_{E,i}(q)$  potenza elettrica del carico i-esimo nell'intervallo q

$P_{n,i}$  potenza elettrica nominale del carico i-esimo

*c.u.* fattore di utilizzazione nell'intervallo q

*c.c.* fattore di contemporaneità nell'intervallo q

Per la creazione dello scenario in cui applicare il controllo si prende in considerazione una unità abitativa tipo, caratterizzata dai seguenti dispositivi elettrici:

**Tabella 24. Carichi elettrici considerati nell'unità abitativa tipo**

Dispositivo	Tipo di carico	Potenza nominale [W]
Illuminazione	D1	505
Frigorifero	D2	160
Ventilazione	D3	20
Televisore e accessori TV (DVD, home theatre) e stand by	HUN1	309.4
Carichi cucina (forno elettrico, robot ecc)	HUN2	6500
Carichi casa (ferro da stiro, aspirapolvere)	HUN3	3600
Carichi PC e multimediali	HUN4	800
Carichi uso igiene (asciugacapelli, ecc)	HUN5	2500
Lavatrice	HC1	2300
Lavastoviglie	HC2	2400

Per un totale di:

- Numero carichi giornalieri = 3
- Numero carichi orari non controllabili = 5
- Numero carichi orari regolabili = 2

La potenza elettrica dell'appartamento, nell'intervallo  $q$ , è quindi esprimibile dalla somma delle potenze delle tre tipologie di carico (giornalieri, orari non controllabili e orari regolabili):

$$P_{E,U}(q) = \sum_{i=1}^3 P_{D,i}(q) + \sum_{i=1}^5 P_{HUN,i}(q) + \sum_{i=1}^2 P_{HC,i}(q) \quad [kW]$$

In cui:

$P_{E,U}(q)$  potenza elettrica dell'unità nell'intervallo  $q$

$P_{D,i}(q)$  potenza elettrica carichi giornalieri nell'intervallo  $q$

$P_{HUN,i}(q)$  potenza elettrica carichi orari non controllabili nell'intervallo  $q$

$P_{HC,i}(q)$  potenza elettrica carichi orari regolabili nell'intervallo  $q$

Successivamente si può esprimere la potenza giornaliera attraverso un vettore di 96 unità (una per ogni intervallo di 15 minuti). Si definisce poi il passaggio della potenza elettrica, dal singolo quarto d'ora all'intera giornata, attraverso un vettore formato sempre da 96 unità. Per il calcolo della potenza elettrica totale della singola unità si considerano le 3 tipologie di carico:

Per i carichi GIORNALIERI, si calcola il vettore potenza moltiplicando la potenza nominale del carico per un vettore  $[u_j]$ , composto da 96 elementi compresi tra zero e uno, che tiene conto sia del coefficiente di utilizzazione sia delle abitudini dell'utente:

$$[P_{D,i}] = P_{n_{D,i}} * [u_{D,i}] \quad [kW]$$

In cui:

$[u_{D,i}]$  è un vettore formato da 96 unità

$P_{n_{D,i}}$  potenza nominale del carico giornaliero  $i$ -esimo

$[P_{D,i}]$  vettore potenza giornaliera del carico  $i$ -esimo

Per i carichi ORARI, in questo passaggio è possibile trascurare la differenza tra carichi orari “non controllabili” e “regolabili”. Per i carichi ORARI, si calcola il vettore potenza moltiplicando la potenza nominale del carico per un vettore  $[u_H]$ , formato da 96 elementi compresi tra zero e uno, che tiene conto sia del coefficiente di utilizzazione che delle abitudini dell’utente, basandosi però (a differenza dei carichi giornalieri) sull’orario di inizio e di fine utilizzazione:

$$[P_{H,i}] = P_{n_i} * [u_{H,i}] \quad [kW]$$

In cui:

$[u_H]$  è un vettore formato da 96 unità

$P_{n_{H,i}}$  potenza nominale del carico giornaliero i-esimo

$[P_{H,i}]$  vettore potenza giornaliera del carico i-esimo

Per la definizione di  $[u_k]$ , si pone:

- $q_n = 0$                      $set_n < t_{start}$
- $q_n = 0$                      $set_n > t_{stop}$
- $0 < q_n < 1$              $set_{start} \leq t_n \leq t_{stop}$

dove n è un numero compreso tra 1 e 96, avendo definito  $t_{start}$  e  $t_{stop}$  come l’orario di inizio e l’orario di fine utilizzazione, rispettivamente.

Il carico elettrico totale della singola unità abitativa è ottenuto sommando i vettori giornalieri di ogni singolo carico:

$$[P_{E,U}] = \sum_{i=1}^3 [P_{D,i}] + \sum_{i=1}^5 [P_{HUN,i}] + \sum_{i=1}^2 [P_{HC,i}] \quad [kW]$$

In cui:

$P_{E,U}$  vettore potenza elettrica giornaliera globale dell’unità

$P_{D,i}$  vettore potenza elettrica giornaliera carichi giornalieri

$P_{HUN,i}$  vettore potenza elettrica giornaliera carichi orari non controllabili

$P_{HC,i}$  vettore potenza elettrica giornaliera carichi orari regolabili

L’energia giornaliera globale della singola unità, rappresentata sempre attraverso un vettore di 96 elementi “q”, si calcola, in kilowattora, moltiplicando il vettore potenza per il tempo associato a ogni elemento q (15 minuti ossia un quarto d’ora):

$$[E_{E,U}] = \frac{[P_{E,U}]}{4} \quad [kWh]$$

La previsione della richiesta di potenza è complessa, a causa della natura statistica e delle ampie variazioni istantanee. Come detto, il modello di simulazione opera in modo “bottom-up”, a partire dal comportamento dell’utente individuale, rappresentato secondo un approccio modellistico Monte Carlo a catena di Markov (MCMC), basandosi su profili registrati in misurazioni sperimentali, combinando la probabilità di presenza nell’unità e la probabilità di attivazione dei dispositivi, ottenendo il profilo di carico elettrico risultante. Il metodo è composto di 5 fasi.

Nella prima fase si considera una funzione di probabilità associata alla presenza nell’unità abitativa, costruita in base a considerazioni euristiche sulle differenti attività che avvengono a seconda dell’orario (ad es. orari lavorativi o pasti). In questa fase si ottiene il profilo di presenza in casa di ciascun abitante.

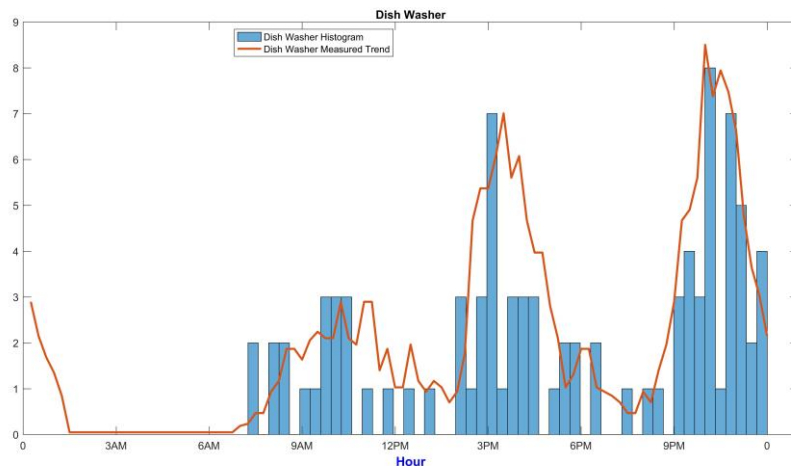
Nella seconda fase, per ogni categoria di carico, si determina il numero giornaliero di attivazioni, attraverso una distribuzione di Gauss o di Poisson centrata sulla media. Le categorie di carico considerate sono riportate in Tabella 25.

**Tabella 25. Categorie di carico**

Categoria	Distribuzione numero attivazioni	Valore atteso	Distribuzione tempo utilizzazione	Valore atteso	Potenza (W)	Energia giornaliera (kWh)

illuminazione	Continua	-	-	-	-	86
Frigorifero, stand-by	Continua	-	-	-	70	171
TV	Gauss	3	Gauss	2 h	250	70
PC	Gauss	3	Gauss	2 h	250	78
Lavori domestici (aspirapolvere etc.)	Poisson	1	Uniforme	15 min, 30 min	1300	17
Igiene (asciugacapelli etc.)	Gauss	1	Uniforme	15 min, 30 min	1500	55
Cucina	Gauss	2	Uniforme	15 min, 30 min	2300	130
Lavatrice	-	1	-	2 h	700*	133
Lavastoviglie	-	1	-	1 h 30 min	700*	104

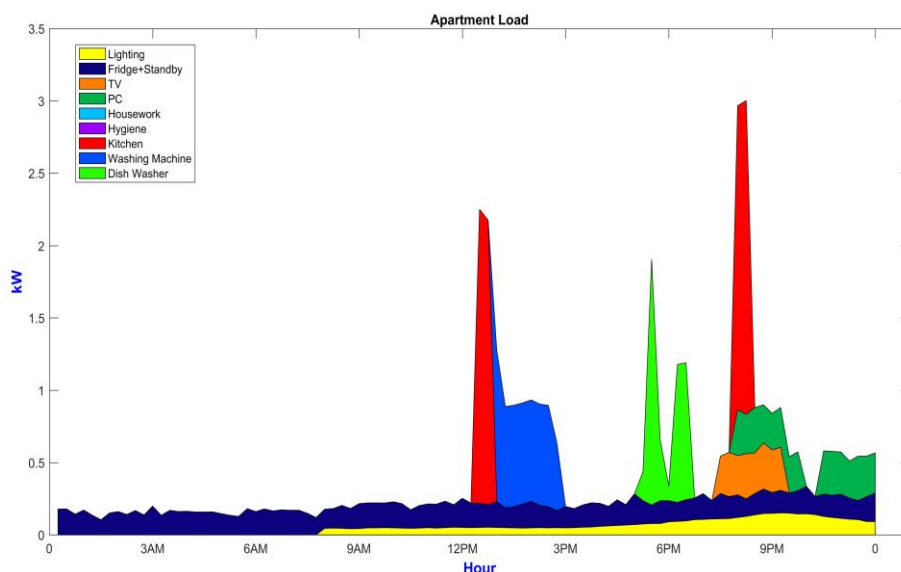
Nella terza fase, si usa un metodo di tipo Monte Carlo per generare l'istante di attivazione di ogni carico. Questo è generato combinando una curva di probabilità per ogni categoria di carico, costruita in base a misurazioni sperimentali, e il profilo di presenza di ogni abitante. L'illuminazione e il frigorifero sono considerati carichi di tipo continuo e sono simulati con profili ottenuti da misurazioni sperimentali; per l'illuminazione, si considera inoltre la presenza e l'orario diurno o notturno. In Figura 53 si riporta un profilo di carico esemplificativo associato a una lavastoviglie.



**Figura 53. Profilo di carico esemplificativo associato a una lavastoviglie**

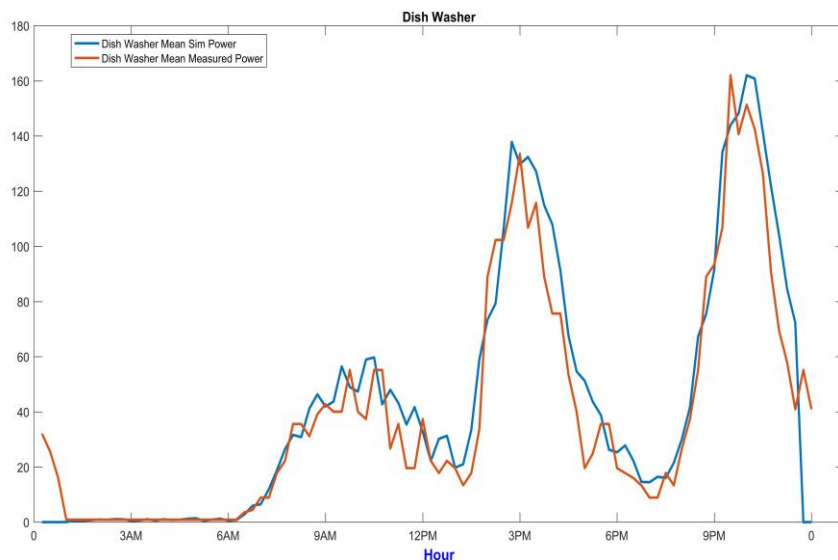
Nella quarta fase, si calcola la durata di utilizzazione, per ogni categoria di carico, a seguito di ogni attivazione del carico, attraverso una distribuzione di Gauss o uniforme, basata su misurazioni sperimentali. La distribuzione della durata di utilizzazione del carico è riportata in Tabella 25.

Nella quinta fase, si genera la curva di carico elettrico di ogni unità abitativa. In Figura 54 si riporta il profilo di carico di una singola unità abitativa, suddiviso per ogni tipo di carico.



**Figura 54. Profilo di carico di una singola unità abitativa, suddiviso per ogni tipo di carico**

Il profilo di carico elettrico di ciascun dispositivo è rappresentato da un vettore  $P(q)$  di  $q$  elementi, da 1 a 96 quarti d'ora. A titolo di esempio, in Figura 53 si riporta l'istogramma degli istanti di attivazione di una lavastoviglie, ottenuto tramite Monte Carlo basandosi sulla distribuzione di probabilità della lavastoviglie, e in Figura 55 si mostra come il profilo di carico simulato segua l'andamento delle misure sperimentali.



**Figura 55. Profilo di carico simulato e misurato sperimentalmente**

A seconda del tipo di edificio in esame, è possibile considerare dei profili di presenza degli utenti associati alle abitudini degli utenti. Nel case study oggetto del presente lavoro, come verrà illustrato più in dettaglio nel seguito, si è fatto riferimento a una struttura residenziale destinata a studenti. Per tal motivo sono stati ipotizzati due profili di presenza tipici:

- Un profilo di presenza denominato “Va fuori”, in cui l'utente è assente nelle ore diurne della giornata ed è presente nelle ore serali
- Un profilo di presenza denominato “Rimane in casa”, in cui l'utente è presente in casa anche nelle ore diurne.

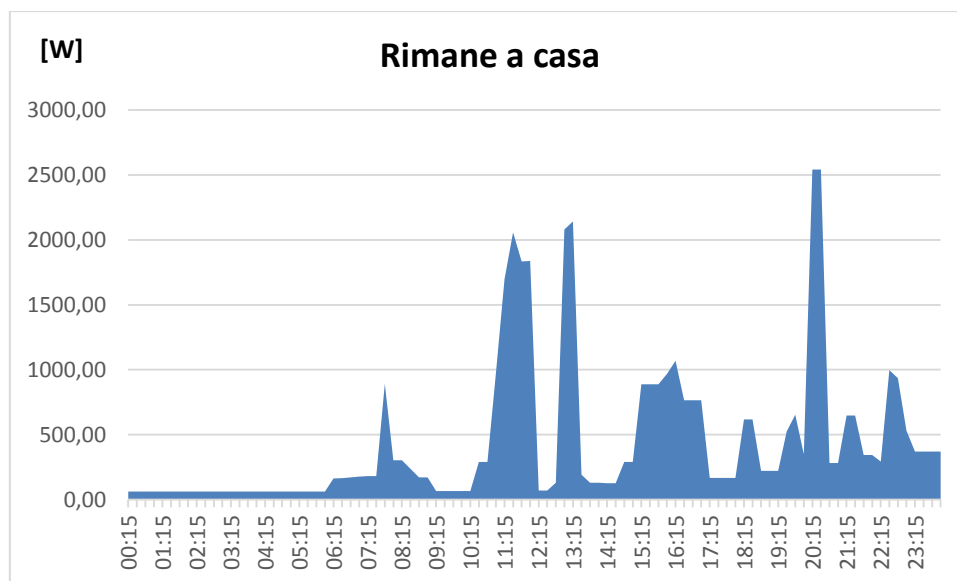
Svolgendo un'analisi energetica dei consumi nell'arco delle 24 ore per i due tipi di appartamento in base alla metodologia descritta nel presente paragrafo si perviene ai valori esposti nella Tabella 26:



**Tabella 26. Consumi giornalieri per i vari carichi secondo i profili ipotizzati**

Carichi elettrici	Consumi profilo "Va fuori" [kWh]	Consumi profilo "Rimane a casa" [kWh]
Illuminazione	0.8	1.21
Frigorifero	0.91	0.91
Ventilazione	0.18	0.18
Televisore e accessori TV	0.32	0.62
Carichi cucina	1.14	2.11
Carichi casa	0.45	1
Carichi PC e multimediali	1.22	2.08
Carichi termici uso igiene	0.4	0.4
Lavatrice	0.91	0.91
Lavastoviglie	1.24	1.24
<b>Totale carichi non controllabili</b>	<b>5.42</b>	<b>8.5</b>
<b>Totale carichi controllabili</b>	<b>2.16</b>	<b>2.16</b>
<b>Totale</b>	<b>7.58</b>	<b>10.66</b>

Di seguito si riportano inoltre i diagrammi di carico giornaliero della singola unità abitativa che caratterizzano i due profili considerati:



**Figura 56. Esempio curva di carico profilo "rimane in casa"**

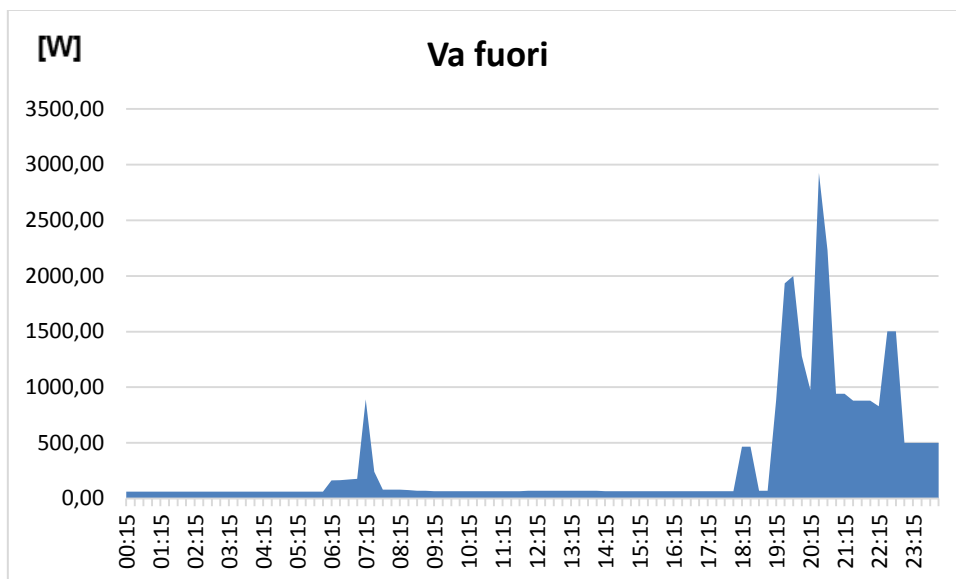


Figura 57. Esempio di curva di carico profilo "va fuori"

### 5.1.2 Carico elettrico dell'edificio

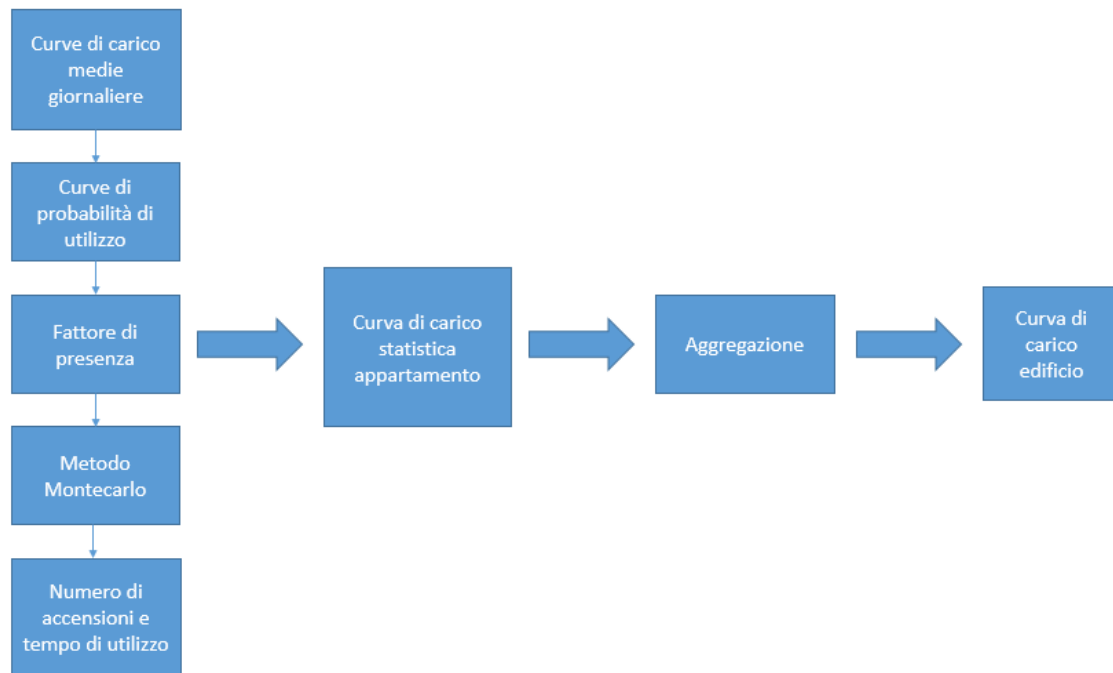
Il comportamento elettrico dell'edificio può essere simulato attraverso un vettore  $P_{EB}(q)$  di  $q$  elementi (da 1 a 96 quarti d'ora) pari all'aggregato dei vettori delle singole unità abitative. L'aggregato è semplicemente la somma dei vettori associati alle unità abitative; è possibile fare questo passaggio in quanto i vettori delle varie unità abitative sono tutti diversi tra loro in virtù dell'approccio MCMC.

$$P_{EB}(q) = P_{uc,b}(q) + P_{c,b}(q) + P_{p,b}(q)$$

L'energia elettrica consumata giornalmente nell'edificio, in kilowattora, è:

$$E_{E,B,d} = \sum_p P_{EB}(q) \cdot \frac{1}{4}$$

Le curve di probabilità di utilizzo sono state sviluppate grazie al supporto fornito da un precedente lavoro svolto dal Politecnico di Milano, indicato con il nome MICENE (**M**isure dei **C**onsumi di **E**nergia **E**lettrica) REF, in cui sono riportate le curve di carico giornaliero medio dei principali elettrodomestici e degli apparecchi di illuminazione di 110 abitazioni. Sono state sviluppate delle curve di probabilità di utilizzo per i carichi elettrici, partendo dalle curve di carico medio giornaliero precedentemente citate, e da un fattore di presenza, basato sui due profili considerati per l'analisi. Per i carichi orari regolabili, per determinare l'orario di attivazione, è stato utilizzato il metodo statistico citato, che ha permesso di determinare in modo casuale gli istanti d'inizio di utilizzazione dei carichi in modo da evitare inverosimili picchi di potenza. Per mantenere quanto più possibile coerente l'analisi, sono stati anche definiti in modo casuale il numero di accensioni e il tempo di utilizzo di ogni carico. In tal modo è stata definita la curva di carico statistica giornaliera della singola unità abitativa, da cui poi, attraverso l'aggregazione delle unità, si perviene a simulare la richiesta elettrica giornaliera dell'intero edificio. Tale procedimento è schematizzato nella Figura 58e nel diagramma di flusso in Figura 59.



**Figura 58. Schema del processo di aggregazione delle unità**

Possiamo riassumere brevemente il codice sviluppato con il diagramma di flusso riportato di seguito. I vari passaggi saranno poi puntualmente spiegati anche attraverso estratti del codice stesso.

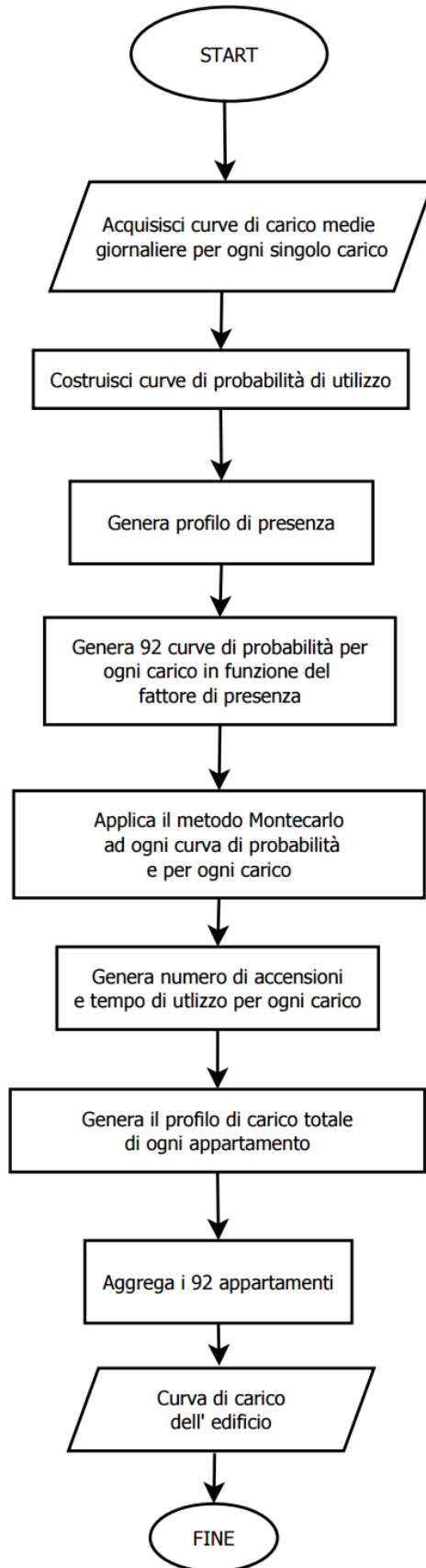
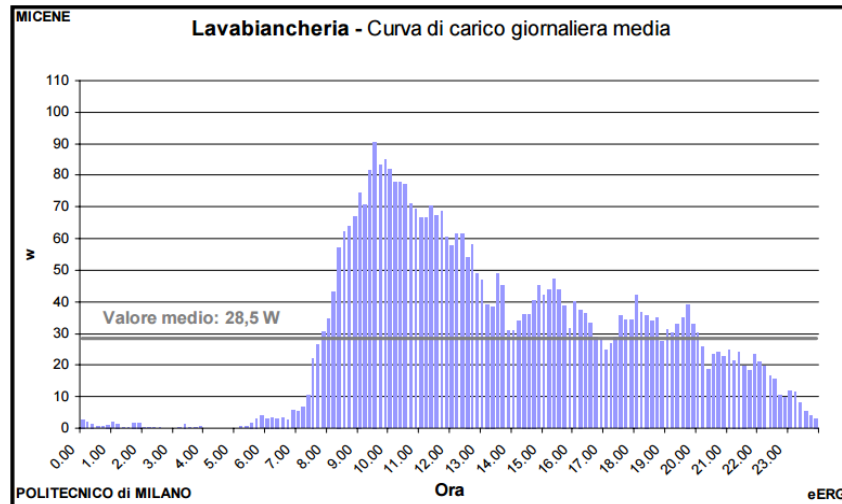
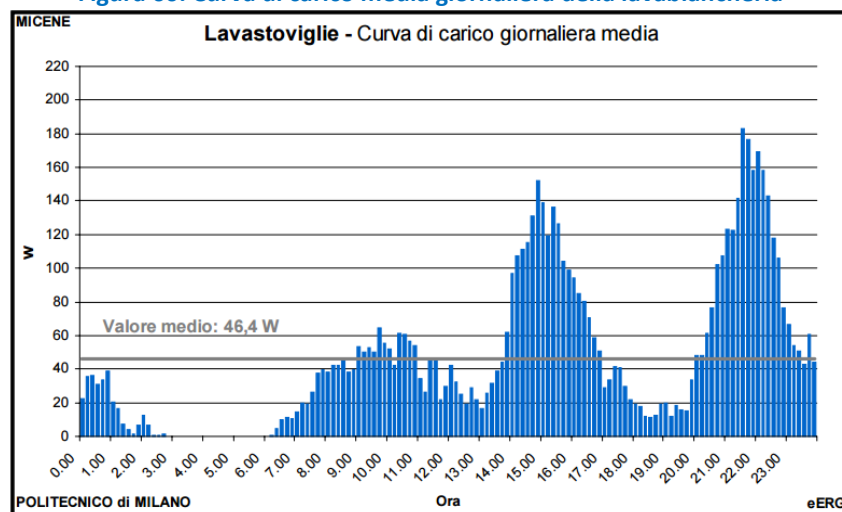


Figura 59. Diagramma di flusso del processo di aggregazione

Le curve di probabilità associate a ogni dispositivo, come detto, sono state ricavate partendo dalle curve di carico medie giornaliere dei relativi dispositivi, studiate dal Politecnico di Milano REF. In letteratura è quindi possibile reperire le curve di carico giornaliera medie per tutti gli elettrodomestici oggetto dell'analisi, a meno della cucina ad induzione, per la quale è stata definita una curva di probabilità di utilizzo, basata su ipotesi, data la mancanza di studi statistici in letteratura. Di seguito si riportano a titolo esemplificativo le curve relative a lavabiancheria e lavastoviglie. Le curve si riferiscono a una media relativa a tutti i giorni dell'anno, comprendendo quindi sia giorni festivi che feriali.



**Figura 60. Curva di carico media giornaliera della lavabiancheria**



**Figura 61. Curva di carico media giornaliera della lavastoviglie**

In base a tali curve, è stato possibile costruire una curva di probabilità di utilizzo per ogni carico elettrico. Dato che il picco di potenza nel caso dei cicli per la lavatrice e la lavastoviglie avviene nei primi 5 minuti e che l'analisi si basa su intervalli di 15 minuti, si ritiene lecito far coincidere la curva di carico media giornaliera con la curva di inizio ciclo dei due elettrodomestici. Grazie a questa posizione, è stato possibile calcolare il numero di accensioni nel singolo intervallo "q". Dividendo poi tali numeri per il numero di accensioni totali giornaliere si ottiene il valore della probabilità di accensione nel singolo intervallo. Si ottiene in tal modo un vettore formato da 96 elementi, in cui ogni elemento rappresenta la probabilità di accensione dell'elettrodomestico in analisi, nell'intervallo di tempo considerato. Tale procedimento è riassunto in Figura 62.



Figura 62. Schema del procedimento di costruzione della curva di probabilità di accensione giornaliera

Su tali basi è stato quindi possibile equiparare la curva di carico media giornaliera a una curva media di accensioni giornaliera.

Si riportano le curve di probabilità di accensione per i due carichi in questione.

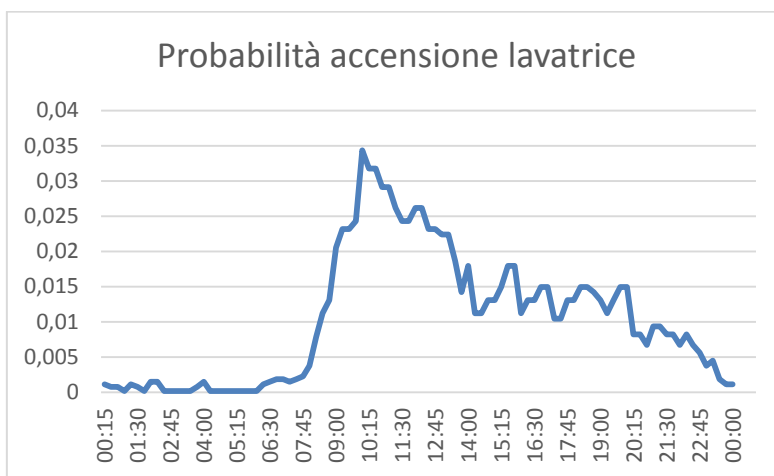


Figura 63. Curva di probabilità di accensione lavatrice



Figura 64. Curva di probabilità di accensione lavastoviglie

Partendo dai due profili scelti per l'analisi si è sviluppato un codice per la generazione di un fattore di presenza da applicare alle curve di probabilità, in modo da ottenere curve di probabilità differenti per ciascun carico elettrico in ciascuna unità, in modo da simulare le differenti abitudini dei diversi utenti ed evitare irrealistici picchi nel profilo di carico complessivo. Si può considerare un fattore che indichi la presenza o meno a casa:

- uguale ad 1, in caso di utente presente;

- uguale a 0, in caso di utente assente.

Di seguito viene riportato il codice generato per il calcolo del fattore di presenza:

```

tau=4; %Hour Sampling
n=92; %Number of apartments
N_Days=2; %Number of days of simulation

for j=1:n
for h=1:N_Days
out1=randi([0,1]); % Probabilità di uscire nella giornata
out2=round(poissrnd(0.2)); % Probabilità di uscire la sera
if out1==1
Y=rand;
X=randi([7*tau,11*tau]);
while Y>ProbOut(X)
Y=rand;
X=randi([7*tau,11*tau]);
end
for i=X:X+tau*9
Pres(i,j,h)=0;
end
end
if out2==1
Y=rand;
X=randi([20*tau,22*tau]);
while Y>ProbOut(X)
X=randi([20*tau,22*tau]);
end
ol=randi([2*tau,4*tau]);
for i=X:max(X+ol,tau*24)
Pres(i,j,h)=0;
end
if ((X+ol)>(tau*24)) && (h<N_Days)
for i=1:(X+ol-tau*24)
Pres(i,j,h+1)=0;
end
end
end
end
end
end
end

```

Grazie a tale modello è possibile ottenere una distribuzione statistica dei due profili ciascuna unità abitativa. Nella Figura 65 è riportata la simulazione relativa a tre giorni diversi per il case study (92 unità abitative).

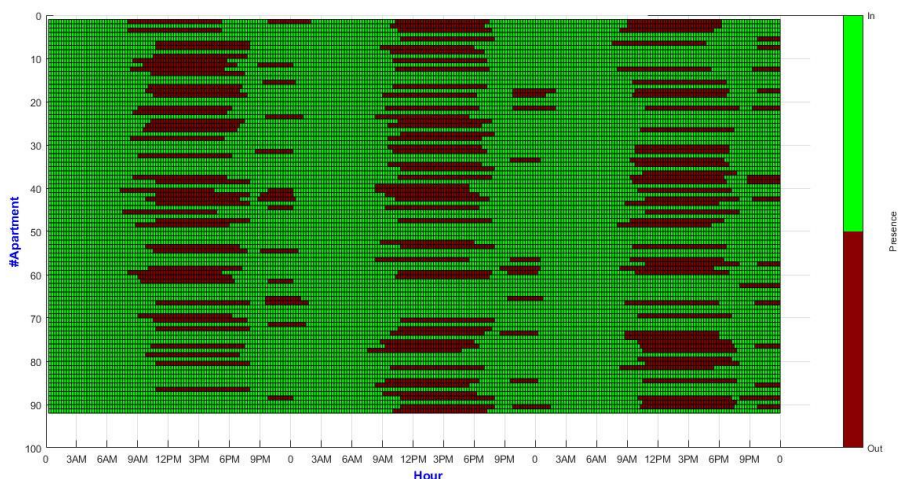


Figura 65. Profilo di presenza per 3 giorni per 92 unità abitative

Con il colore verde viene indicata la presenza a casa dell’utente (fattore di presenza 1), mentre con il rosso la sua assenza (fattore di presenza 0).

Come detto, per la costruzione delle curve di carico degli appartamenti, gli istanti di accensione di ogni carico sono stati definiti attraverso l’utilizzo di un metodo statistico. L’obiettivo è la costruzione statistica, e quindi verosimile, del vettore t-start degli istanti di attivazione dei vari carichi elettrici.

Nel modello sviluppato nel presente lavoro, sono stati considerati due insiemi di numeri casuali, da confrontare con la curva di probabilità di utilizzo del singolo carico. I due numeri casuali associati ad ogni unità abitativa sono:

- “x”, compreso tra 0 ed 1, da confrontare con il valore della probabilità di accensione nel singolo intervallo “q” in analisi. Se la x è maggiore della probabilità nell’intervallo, l’elettrodomestico non entra in funzione e l’analisi passa all’intervallo successivo;
- “y”, compreso tra 0 e 96, che indica l’intervallo di tempo casuale di avvio del carico elettrico; permette di scegliere casualmente, in tutto l’arco della giornata, l’intervallo di inizio del confronto tra la “x” e la distribuzione di probabilità.

Per tutti i carichi è stato deciso un numero di accensioni, anch’esso oggetto di un’analisi statistica, come in seguito illustrato. In particolare, per la lavatrice e la lavastoviglie, è stata considerata almeno un’accensione al giorno.

I vettori risultanti, contenenti gli istanti di inizio utilizzazione di ogni carico, risultano sempre formati da 96 elementi, con valore uguale a 1 se l’elettrodomestico è in funzione nell’intervallo considerato, o zero se l’elettrodomestico risulta spento. Grazie al fattore di presenza, viene garantito che il carico possa essere attivato solo se l’inquilino è presente in casa.

Il codice per l’applicazione del metodo statistico:

```
%% -----MONTECARLO-----

%Lighting and Fridge
K1(:,j)=circshift(L(:,1),round(normrnd(0,Sigma)));
for i=1:tau*24*N_Days
    kAL(j,i,1)=K1(i,j)+normrnd(0,0.1*max(L(:,1)));
    kAL(j,i,2)=L(i,2)+normrnd(0,0.1*max(L(:,2)));
end
% TV PC Housework Hygiene Kitchen Washing Machine Dish Washer
for k=3:9
for l=1:N_on(j,k,h)
e1=1;
                e2=0;
% Montecarlo
                Y=rand;
```



```

X=randi([1,24*tau]);
while Pres(X,j,h)==0
    X=randi([1,24*tau]);
end
while Y>L(X,k)*Pres(X,j,h)||any(abs((X+(h-1)*tau*24)-
T_start(j,k,:))<(min_break(k)+T_on(j,k,h)))
Y=rand;
    X=randi([1,24*tau]);
while Pres(X,j,h)==0
X=randi([1,24*tau]);
end
    e1=e1+1;
if e1>10000
    e2=1;
break
end
if e2==1
break
end
if e2==0
if h==1
    T_start(j,k,h,1)=round(X);
else
    T_start(j,k,h,1)=round(X)+24*tau*(h-1)-
randi([0,T_on(j,k,h)]);
end
end

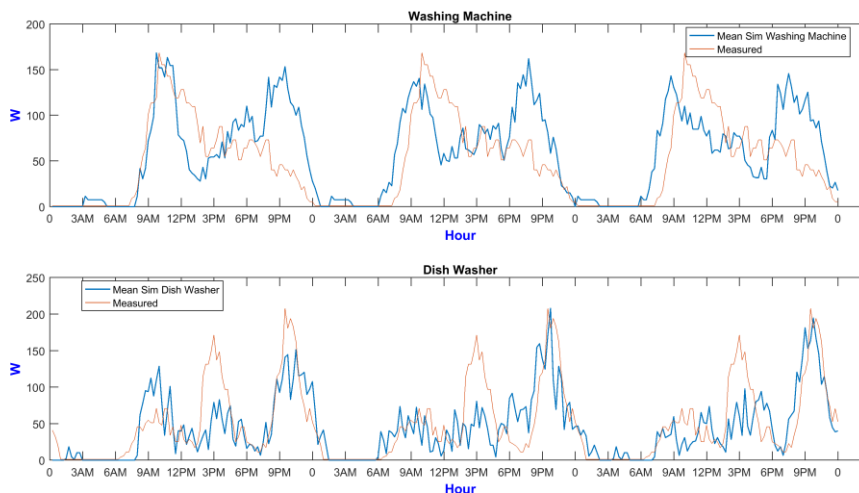
if T_start(j,k,h,1)<0
    T_start(j,k,h,1)=T_start(j,k,h,1)+tau*24;
end
if T_start(j,k,h,1)~=0
% Apartment Load
for i=0:(T_on(j,k,h)-1)
if k==7

Pu(1,k)=(Pm(1,k)+0.3*rand*Pm(1,k))*L(T_start(j,k,h,1),10);%% Kitchen Utilization
factor;
    kAL(j,i+T_start(j,k,h,1),k)=Pu(1,k);
elseif k==8
    kAL(j,i+T_start(j,k,h,1),k)=WM(i+1);
elseif k==9
    kAL(j,i+T_start(j,k,h,1),k)=DW(i+1);
else
    Pu(1,k)=Pm(1,k)+0.3*rand*Pm(1,k);
    kAL(j,i+T_start(j,k,h,1),k)=Pu(1,k);
end
end
end
end
end
end
end
end

```

Per la lavatrice e la lavastoviglie è stata definita un'attivazione al giorno per un ciclo fisso, pari a un'ora e mezza per la lavastoviglie e a due ore per la lavatrice. Si riportano di seguito le curve di carico medio, ottenuto dalla simulazione su tre giorni, per lavatrice e lavastoviglie. Oltre alla curva simulata (in blu) è riportata come riferimento (in rosso) la curva di carico misurata per lo stesso elettrodomestico (Figura 66). Si può vedere come i risultati della simulazione siano in accordo con le curve di riferimento (ad esclusione

delle ore centrali del giorno, nelle quali si è ipotizzato che gli inquilini del Profilo “Va fuori” siano assenti) e quindi si possano ritenere attendibili.



**Figura 66. Curve di carico per lavatrice (in alto) e lavastoviglie (in basso), simulate (in blu) e, per confronto, misurate (in rosso)**

Per gli altri carichi orari, il numero delle accensioni giornaliere e il tempo di utilizzo si considerano distribuiti statisticamente attraverso una distribuzione gaussiana, centrata sul valore medio scelto a seconda del tipo di carico (Tabella 27).

**Tabella 27. Numero di accensioni e tempo medio di accensione per i carichi orari**

	Numero medio di accensioni giornaliere	Tempo medio di accensione
Televisore e accessori TV (DVD, home theatre) e stand by	2	2 ore
Carichi cucina (forno elettrico, robot ecc)	2	30 minuti
Carichi casa (ferro da stiro, aspirapolvere)	0.5	15 minuti
Carichi PC e multimediali	2	2 ore
Carichi termici uso igiene (asciugacapelli, ecc)	1	15 minuti

Di seguito viene riportato il codice utilizzato:

```

%% Time and # Loads Activity
%L(:,1)=Lighting and standby
%L(:,2)=Fridge
%L(:,3)=TV
%L(:,4)=PC
%L(:,5)=Housework
%L(:,6)=Hygiene
%L(:,7)=Kitchen
%L(:,8)=Washing Machine
%L(:,9)=Dish Washer
%L(:,10)=Kitchen Utilization Factor

% k-Load Use Time
T_on(1,3)=abs(round(normrnd(2,0.5)))*tau;
    
```

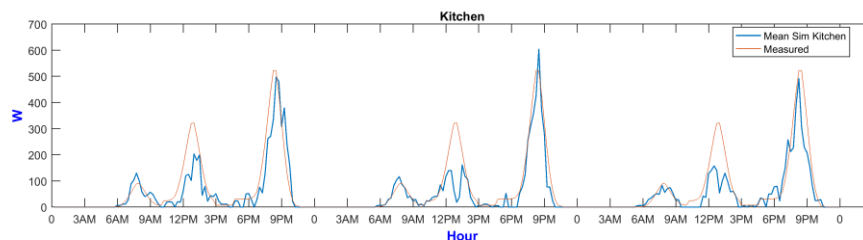
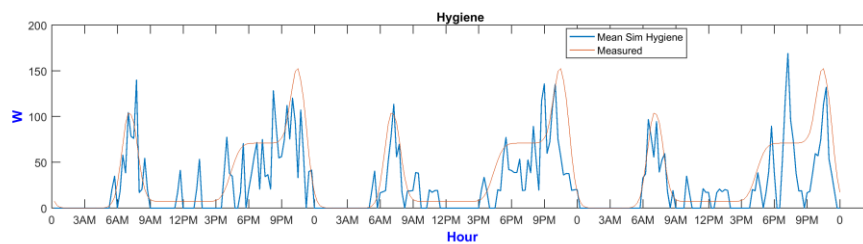
```

T_on(1,4)=abs(round(normrnd(2,0.5)))*tau;
T_on(1,5)=randi([1,2])/4*tau;%randi([0.25,0.5])
T_on(1,6)=randi([1,2])/4*tau;
T_on(1,7)=randi([2,4])/4*tau;
T_on(1,8)=length(WM);
T_on(1,9)=length(DW);

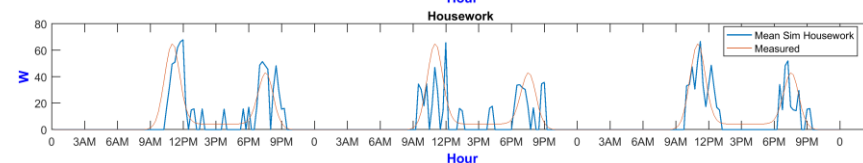
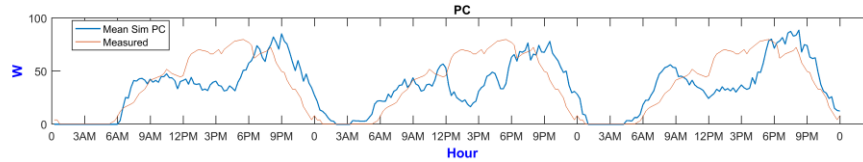
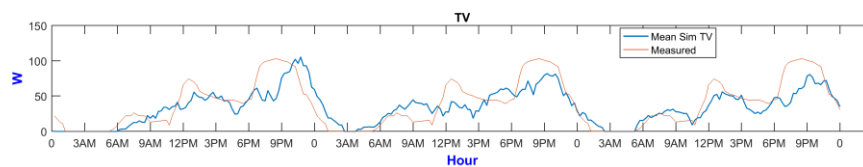
% # k-Load Daily Use
if sum(Pres(:,j,h))>tau*20
% Home People
N_on(1,3)=abs(round(normrnd(2,0.8)))*%norm(round(2/3))
N_on(1,4)=abs(round(normrnd(2,0.8)))*%norm(round(2/3))
N_on(1,5)=randi([0,1]);
N_on(1,6)=randi([0,2]);
N_on(1,7)=abs(round(normrnd(2,0.5)))*%norm(round(2/3))
N_on(1,8)=1;
N_on(1,9)=1;
end
%N_on(1,8)=abs(round(normrnd(0,0.5)))*%norm(round(2/3))
%N_on(1,9)=abs(round(normrnd(0,0.5)))*%norm(round(2/3));

```

Si riportano le curve medie di utilizzo per ogni carico orario (in blu la curva simulata mentre in rosso per confronto il riferimento misurato).



**Figura 67. Curve di carico medie uso igiene e cucina**



**Figura 68. Curve di carico medie TV, PC e carichi domestici**

Si riportano inoltre le curve di carico medie simulate relative a illuminazione e frigorifero. Per semplicità si è incluso nel carico del frigorifero, data la sua natura giornaliera, il carico dovuto allo standby di tutti gli elettrodomestici. In questo caso non si riporta il riferimento misurato, in quanto la curva è stata costruita attraverso considerazioni teoriche.

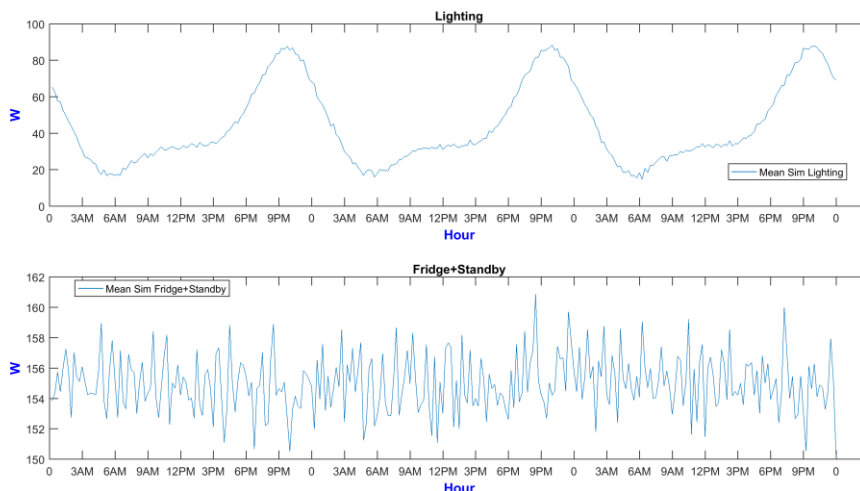


Figura 69. Curve medie simulate per illuminazione e frigorifero (incluso stand-by elettrodomestici)

La simulazione risultante, su 3 giorni, della curva di carico di una unità abitativa scelta casualmente è riportata in Figura 70. Si riporta inoltre in Figura 71 la curva di carico mediata su un numero totale di unità abitative comprese in un edificio (in questo caso si fa riferimento al numero di unità presenti nell’edificio considerato come case study, pari a 92).

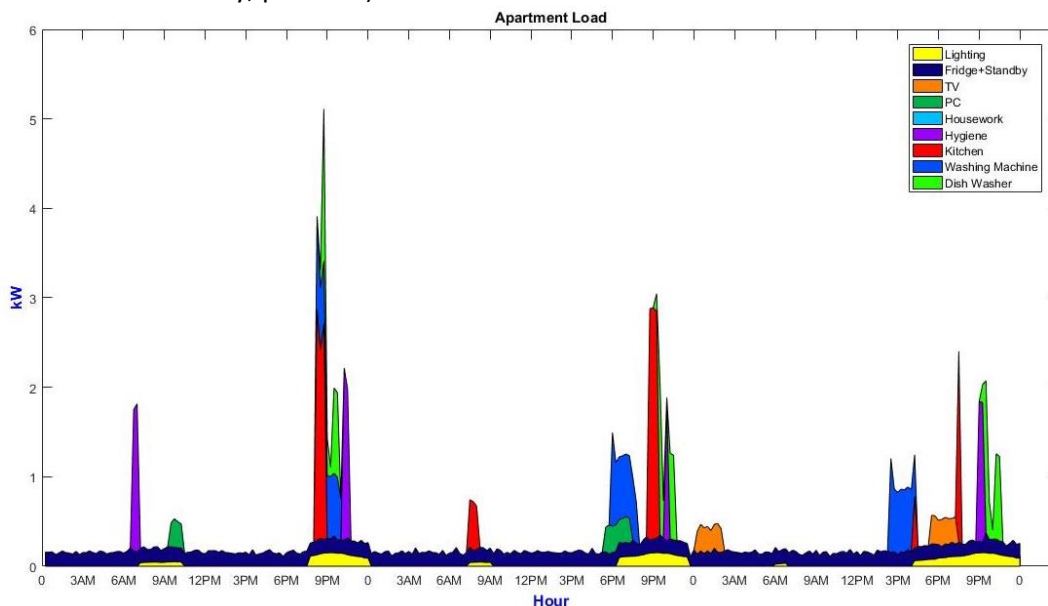
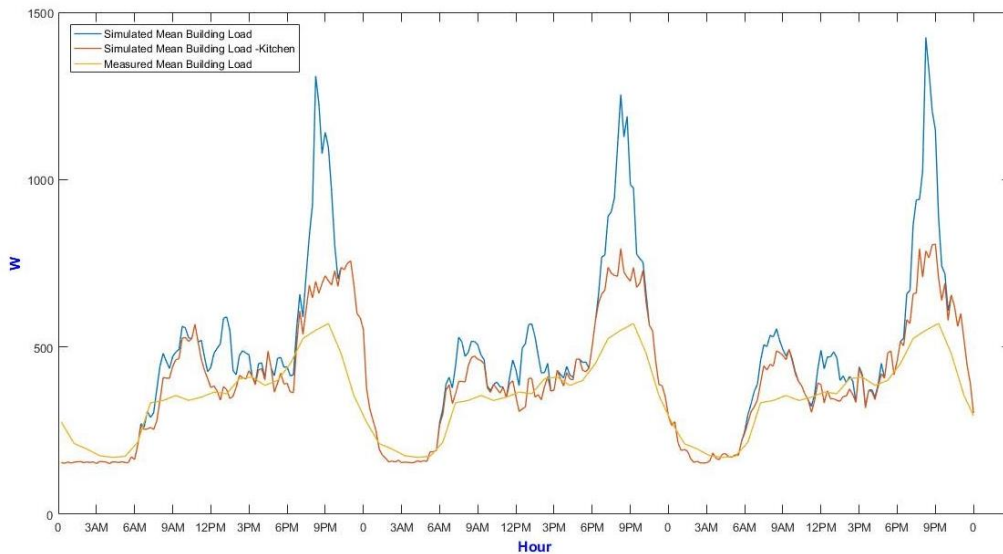


Figura 70. Simulazione su una unità abitativa a caso su 3 giorni

Si può notare come il modello simuli in maniera realistica il comportamento dell'utente, variando i carichi in modo statistico nell'arco di una simulazione di più giorni.

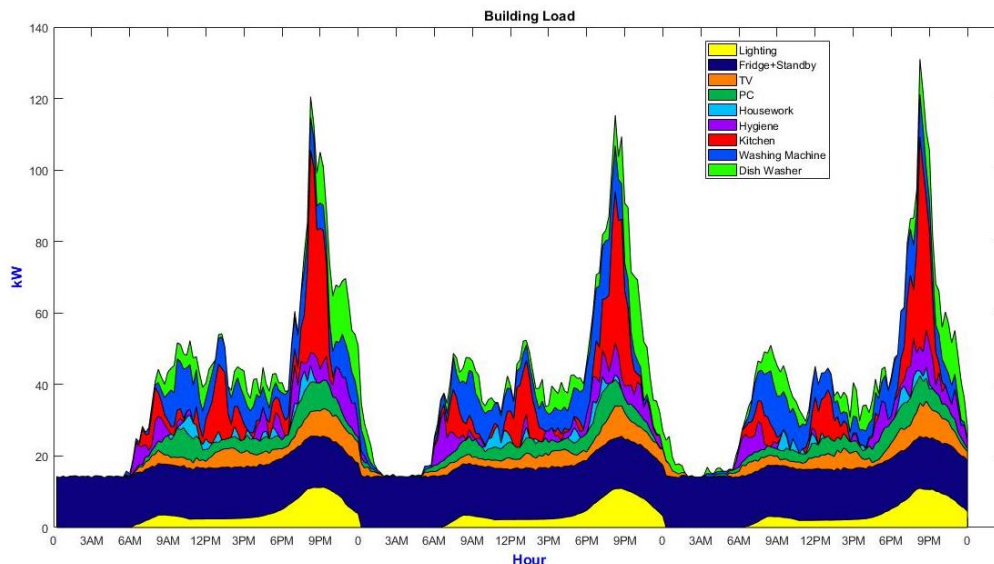


**Figura 71. Simulazione della curva di carico media dell'unità abitativa (mediata sul numero totale di unità)**

Dall'analisi della curva si può notare che:

- la curva di carico dell'unità abitativa, al netto della cucina ad induzione (riportata in rosso), sia molto vicina alla curva di riferimento misurata, con una differenza nelle ore centrali del giorno, dovuta alla particolarità dei profili adottati nell'analisi oggetto del presente lavoro;
- la cucina ad induzione costituisca un carico di picco per la richiesta elettrica dell'appartamento, picco che comunque trova riscontro nell'elevata potenza installata (6 kW).

Dall'aggregazione del totale delle unità abitative si perviene alla curva di carico per l'intero edificio. In Figura 72 si riporta un risultato esemplificativo, relativo al case study considerato.



**Figura 72. Curva di carico dell'intero edificio**

## 5.2 Modello termico dell'edificio

### 5.2.1 Carico termico dell'unità abitativa

L'obiettivo del modello termico è simulare il funzionamento dell'edificio e dell'impianto termico in modo da valutare gli effetti del sistema di controllo per gestire, forzare e ottimizzare il sistema di riscaldamento alimentato da pompa di calore geotermica, valutando gli effetti dell'inerzia termica dell'edificio e dei fattori ambientali.

Il comportamento termico di ciascuna unità, assumendo una temperatura unica per l'intera porzione riscaldata soggetta alle variazioni di temperatura, può essere descritto dalla legge:

$$C \frac{dT_{amb}}{dt} = P_{app} + \sum A_i - H * (T_{amb}(t) - T_e(t))$$

Da cui:

$$\frac{dT_{amb}}{dt} = \frac{P_{app} + \sum A_i - H * (T_{amb}(t) - T_e(t))}{C}$$

Si tratta di una equazione differenziale lineare del primo ordine, risolta alle differenze finite. Di seguito sono illustrati i vari termini che compaiono nell'equazione.

### 5.2.2 Temperatura esterna

Innanzitutto, per il calcolo dei disperdimenti di calore dell'unità abitativa è necessario conoscere l'andamento della temperatura esterna. A tal fine si è definito un giorno tipo da cui estrarre i dati climatici. Da un database disponibile su internet [Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.] sono stati estratti i dati climatici riguardanti Campobasso (località del case study) dal 15 dicembre al 21 marzo per gli anni 2010-2015. Da questi dati sono interpolate le temperature nell'arco della giornata tipo, con passo 15 minuti (passo adottato per il modello termico), di cui un esempio è fornito in Figura 73.

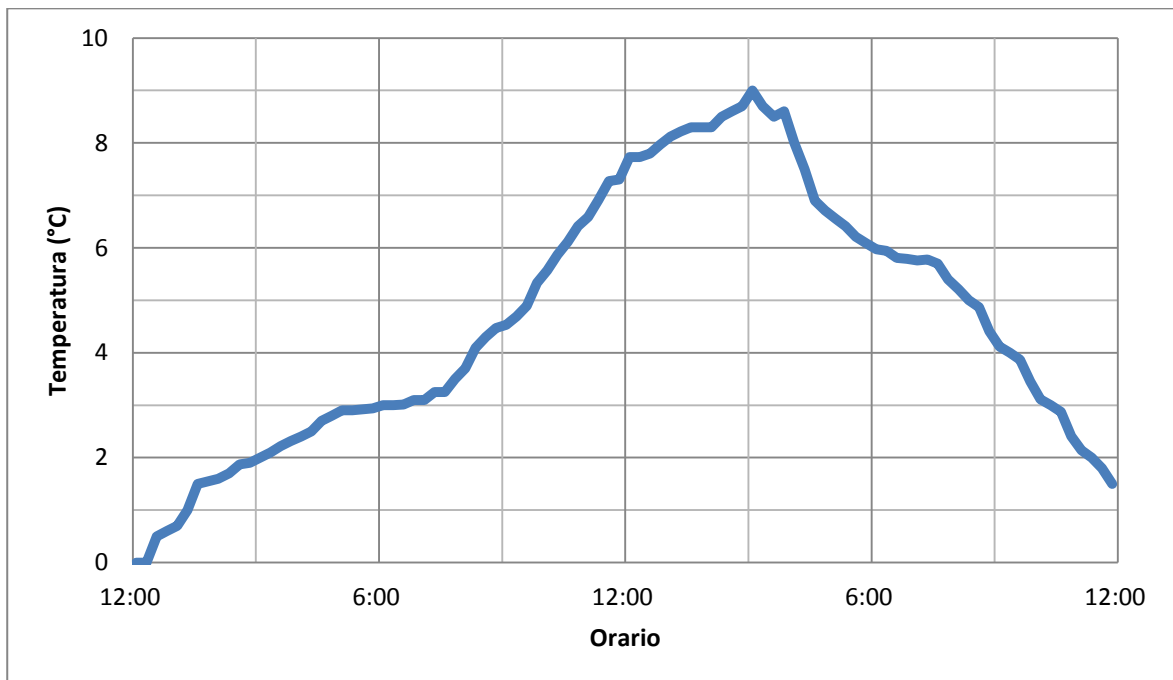


Figura 73. Temperatura del giorno tipo invernale

### 5.2.3 Scambi termici con l'esterno

Il termine  $H = \sum U_j S_j + G_{vm} * c_{au}^* * b$  riguarda lo scambio termico verso l'esterno. L'indice j indica la parete j-esima; U e S indicano rispettivamente la trasmittanza termica e l'area di ciascuna porzione dell'involucro. Con riferimento agli NZEB, i ponti termici sono assunti "corretti" pertanto sono omessi nel calcolo. Gli effetti della non-stazionarietà della trasmissione del calore sono valutati all'interno della capacità termica dell'ambiente come illustrato di seguito. Lo scambio termico viene considerato solo per le pareti che confinano con l'ambiente esterno, utilizzando una temperatura media uniforme per l'intera unità e trascurando lo scambio di calore tra appartamenti confinanti.

Inoltre,  $G_{vm}$  è la portata di ventilazione (volumetrica),  $c_{au}^*$  è la capacità termica dell'aria per unità di volume, b è il complemento a 1 dell'efficienza di recupero del calore dell'impianto di ventilazione.

Nel case study di cui al capitolo seguente, H è pari a 30,25 W/K, cui contribuisce per il 76% la ventilazione. Ciò ha reso possibile in particolare la semplificazione di cui sopra per la trasmissione del calore attraverso l'involucro.

#### 5.2.4 Capacità termica

Il termine C indica la capacità termica della porzione di ambiente riscaldata. È necessario considerare non solo la capacità termica dell'aria ambiente ma anche quella della porzione dell'involucro edilizio la cui temperatura varia in conseguenza delle variazioni di temperatura dell'aria ambiente, limitata dalla penetrazione dell'onda termica. Si calcola pertanto la profondità di penetrazione periodica, definita come [7] "la profondità alla quale l'ampiezza delle variazioni di temperatura è ridotta di un fattore e in un materiale omogeneo di spessore infinito soggetto a variazioni sinusoidali di temperatura sulla sua superficie":

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda T}{\pi \rho c}}$$

In cui:

$\delta$  [W/mK] = Conduttività termica del materiale

c [J/kg·K] = Capacità termica specifica

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] = Densità

T [s] = Periodo della sollecitazione termica

L'indice è stato calcolato in tre intervalli temporali di riferimento: 10 minuti, 1 ora, 24 ore.

Per calcolare la capacità termica si utilizza quindi la seguente equazione:

$$C = V\rho c_{au} + \sum_j \frac{1}{2} \delta_j S_j \rho_j c_j$$

In cui:

- Il termine  $V\rho c_{au}$  esprime la capacità termica dell'aria umida in ambiente;
- Il termine  $\frac{1}{2} \delta_j S_j \rho_j c_j$  esprime la capacità termica dello strato di parete interessato dalla penetrazione termica; il termine compare se  $\delta_j > d_j$ , dove  $\delta_j$  è la profondità di penetrazione del materiale j-esimo e  $d_j$  è il relativo spessore.

Sono state calcolate le capacità termiche per la parete ai tre intervalli temporali prima illustrati.

Per l'implementazione del modello sono state scelte le capacità termiche a 1 ora, in quanto tale è l'ordine di grandezza delle sollecitazioni connesse al sistema di controllo di cui si desidera valutare le prestazioni.

#### 5.2.5 Apporti termici interni

Il termine  $\sum A_i$  esprime gli apporti interni, che comprendono la presenza delle persone, la potenza scambiata per illuminamento e la potenza scambiata dalle apparecchiature elettriche presenti in ambiente; rispettivamente:

$$\begin{aligned} P_{MET} &= n_p MET \\ P_{ill} &= n_l W_l f_u \\ P_{ce} &= \sum W_{ce} f_{uce} f_r \end{aligned}$$

In cui:

$n_p$	Numero persone
$n_l$	Numero lampade in ambiente
$W_l$	Potenza lampada
$f_u$	Fattore di utilizzazione
$W_{ce}$	Potenza apparecchio elettrico
$f_{uce}$	Fattore utilizzazione apparecchio elettrico
$f_r$	Fattore radiazione

### 5.2.6 Sistema di riscaldamento

L'impianto di riscaldamento andrebbe suddiviso nei seguenti sotto sistemi:

- Trasmissione del calore tra il pavimento e l'ambiente, che tenga conto dell'inerzia termica del pavimento
- Trasmissione del calore tra acqua di riscaldamento e pavimento, che tenga conto della temperatura di mandata dell'acqua dalla centrale termica e della portata d'acqua imposta dalla valvola di regolazione locale
- Sistema di controllo della valvola di regolazione locale.

Nell'ambito dell'analisi preliminare oggetto del presente studio, finalizzata alla valutazione dell'efficacia dei sistemi di regolazione proposti a livello del carico elettrico, si è scelto in questa prima fase di studio di semplificare il modello del sistema di riscaldamento, accorpando i tre livelli indicati sopra in un unico modello deterministico della potenza erogata (trascurando l'inerzia propria del pavimento, inglobata nella capacità termica dell'ambiente).

Il modello presuppone un controllo di tipo PI (proporzionale integrale) che regola la potenza scambiata dal pavimento radiante con l'ambiente. Si definiscono:

- lo scostamento della temperatura, come la differenza tra la temperatura di setpoint  $T_{sp}$  e la temperatura misurata in ambiente
- i coefficienti  $K_p$  proporzionale e  $K_I$  integrale (da impostare in relazione alle caratteristiche dell'ambiente servito)

La potenza erogata dal riscaldamento è espressa quindi come una quota della potenza nominale, in funzione dell'errore sulla temperatura:

$$P_{app} = f(x) = \begin{cases} KP_{appN}, & K < 1 \\ P_{appN}, & K \geq 1 \end{cases}$$

In cui si è posto:

$$K = \left[ K_p (T_{sp} - T_{amb}(t_0)) + K_I \int_0^{t_0} (T_{sp} - T_{amb}(t_0)) d\tau \right]$$

La temperatura di setpoint è stata scelta pari a 20°C di giorno, come da normativa e prassi progettuale, e a 16°C nei periodi di attenuazione.

### 5.2.7 Calcolo della temperatura ambiente

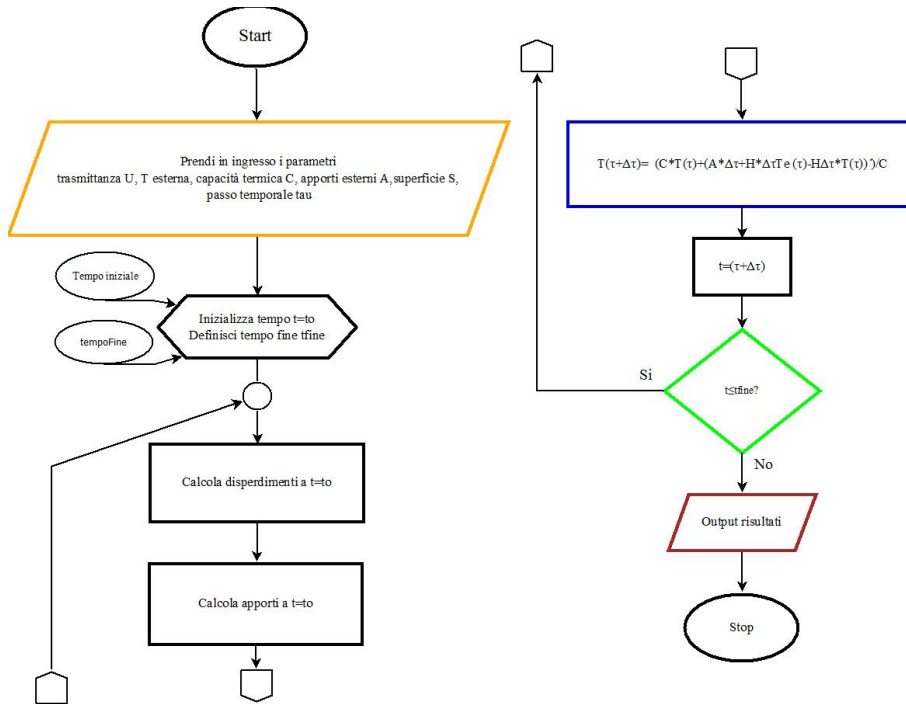
Con i termini precedentemente descritti (capacità termica, temperature esterne, temperatura di setpoint, trasmittanze, superfici, apporti interni, potenza dei pannelli radianti e passo temporale  $\Delta\tau$ ), il calcolo della



temperatura ambiente viene svolto risolvendo l'equazione differenziale alle differenze finite in forma implicita:

$$T_{amb}(t + \Delta\tau) = \frac{\Delta\tau(P_{app}(t + \Delta\tau) + H * T_e(t + \Delta\tau) + \sum A_i(t + \Delta\tau)) + C * T_{amb}(t)}{(C + H\Delta\tau)}$$

Il processo è schematizzato nel flowchart in Figura 68.



**Figura 74. Flowchart della risoluzione dell'equazione della temperatura ambiente**

La richiesta di riscaldamento della singola unità residenziale è valutata attraverso il calcolo della temperatura interna, mediante l'equazione semplificata di seguito riportata:

è il periodo di tempo considerate e

$$P_{app}(t) = K_p * (T_{sp}(t) - T(t)) + K_i * \int_0^t (T_{sp}(t) - T(t)) dt$$

$T_{sp}$  può essere impostata a seconda della presenza o dell'assenza degli utenti all'interno dell'unità, in modo da ridurre i consumi.

### 5.2.8 Carico termico dell'edificio

Una volta calcolata la richiesta di calore  $P_{app}$  dell'unità abitativa, il modello calcola la richiesta globale dell'edificio, sommando le richieste di ogni unità:

$$A_{H,B} = \sum P_{app}$$

La pompa di calore opera controllando la temperatura del puffer (serbatoio di accumulo del circuito di riscaldamento), la cui temperatura è data dalla seguente equazione differenziale, trascurando i fenomeni di stratificazione termica:

$$C_a \frac{dT_a}{dt} = A_{P,B}(t) - A_{H,B}(t) + H_a(T_a(t) - T_{ac})$$

L'equazione è risolta alle differenze finite:

$$T_a(t + \Delta\tau) = T_a(t) + \Delta\tau \frac{A_{P,B}(t) - A_{H,B}(t) + H_a(T_a(t) - T_{ac})}{C_a}$$

In cui:

$T_a$  è la temperatura del puffer;

$C_a$  è la capacità termica del puffer, ipotizzato omogeneo;

$A_{P,B}$  è l'apporto termico della pompa di calore;

$A_{H,B}$  è l'apporto termico dal puffer a ciascuna unità;

$H_a$  è la resistenza termica del puffer verso l'ambiente circostante;

$T_{ac}$  è la temperatura ambiente nella sottocentrale in cui è collocato il puffer.

La pompa di calore è modellata con controllo on-off a 4 gradini (2 macchine con 2 gradini ciascuna) con i cicli di isteresi rappresentati in Figura 69, in modo da separare il sistema PDC-puffer dalle richieste termiche degli ambienti serviti.

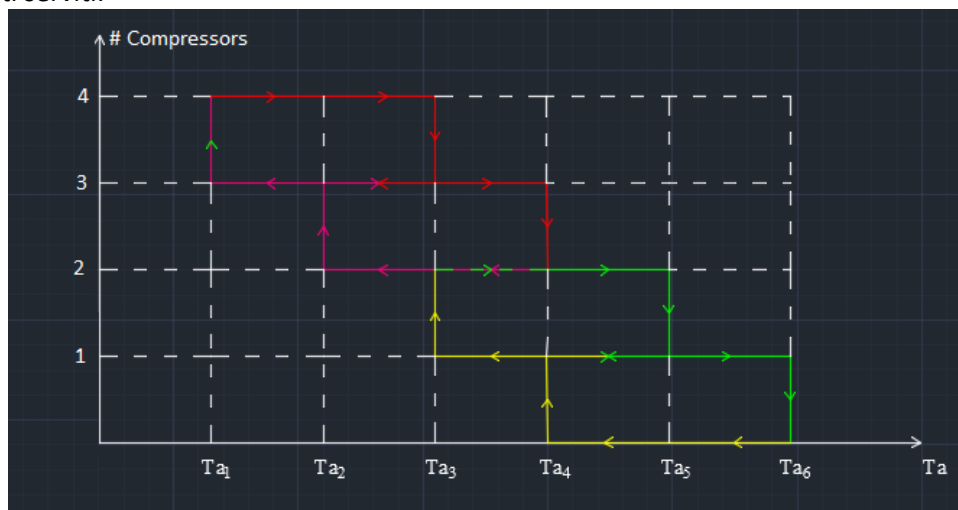


Figura 75. Cicli di isteresi dei compressori della pompa di calore

Parallelamente alla valutazione del numero dei compressori in funzionamento, si calcolano per interpolazione la potenza termica  $A_{P,B}(t + \Delta\tau)$  e la potenza elettrica  $P_{HB}(t + \Delta\tau)$  a partire da  $T_a(t + \Delta\tau)$ , assumendo la temperatura del campo geotermico costante. In ultima analisi, il modello considera il comportamento del sistema pompa di calore + geotermia + puffer e fornisce come output il carico elettrico per riscaldamento  $P_{HB}(q)$ , come vettore di 96 elementi, campionando  $P_{HB}(t)$ .

Un modello del tutto analogo è usato per l'ACS,  $A_{HW,U}$ , e fornisce il carico elettrico  $P_{HW}(q)$  per la produzione di ACS.

### 5.3 Saldo al nodo dell'edificio

Il carico elettrico complessivo dell'edificio  $P_B(p)$ , la generazione PV giornaliera  $P_{PV}(q)$  e il saldo al nodo dell'edificio sono anch'essi vettori di 96 elementi. Il saldo al nodo d'edificio rappresenta la potenza scambiata con la rete di distribuzione.

### 5.4 BEMS per DSM

L'obiettivo generale di un BMS è quello di gestire il sistema HVAC in modo da garantire un comfort accettabile per gli occupanti e un funzionamento corretto dei sistemi. Un BMS diviene un BEMS se è inoltre in grado di ottimizzare la domanda di energia. Nell'approccio presentato, il BEMS diviene di tipo avanzato in quanto ha come obiettivo l'ottimizzazione della domanda di energia elettrica al punto d'interfaccia con la rete di distribuzione tenendo in considerazione anche la generazione locale.

Gli obiettivi del BEMS sono:

- Ottimizzare lo sfruttamento dell'autoconsumo della generazione locale

- Minimizzare i picchi di potenza istantanei
- Ottimizzare il profilo complessivo netto al POC
- Minimizzare il costo dell'energia acquistata sul mercato elettrico (considerando anche l'andamento dinamico)
- In uno scenario futuro di penetrazione di veicoli elettrici, ottimizzare il comportamento delle stazioni di ricarica presenti.

Il BEMS può andare ad agire su:

- Programmazione oraria degli elettrodomestici smart
- Sistema di riscaldamento, sfruttando la grande inerzia termica connaturata all'edificio e ai boiler

#### 5.4.1 Gestione dell'impianto termico

Il BES è in grado di controllare, in tempo reale:

- Set point dei boiler e del puffer ( $T_B$ )
- Set point in modalità comfort in ogni unità ( $T_S$ ), in subordine rispetto al sistema HES
- Set point in modalità economy in ogni unità ( $T_E$ ), con priorità
- Il passaggio da  $T_B$  a  $T_S$  e viceversa, in ogni unità

L'HES è in grado di controllare, in tempo reale, anche da remoto (via HIS):

- Set point in modalità comfort in ogni unità ( $T_S$ ), con priorità rispetto al BES
- Il passaggio da  $T_B$  a  $T_S$  e viceversa, in ogni unità

Un BEMS tradizionale può operare sui valori dei vari sistemi, impostando:

- Temperatura di funzionamento normale dei boiler,  $T_{BN}$
- Set point normale in caso di presenza nell'unità, in modalità comfort,  $T_{SN}$
- Set point normale in caso di assenza dall'unità o in orario notturno (modalità economy),  $T_{EN}$

Nel seguito sono presentate alcune strategie di controllo sviluppate nel modello oggetto del presente lavoro.

#### 5.4.2 Controllo T1

Forzando il setpoint  $T_B$  dei boiler centrali (Destinati a HVAC e ACS) è possibile ridurre il picco potenza elettrica in caso di carico eccessivo, oppure accumulare energia in caso di carico basso o negativo. Ciò viene dettato dalle seguenti regole:

- Se  $p(t) > PM1$ , allora il BEMS forza  $T_B$  riducendolo da  $T_{BN}$  a  $T_{BL}$
- Se  $p(t) < Pm1$ , allora il BEMS forza  $T_B$  aumentandolo da  $T_{BN}$  a  $T_{BH}$

Avendo posto:

- $p(t)$  carico elettrico istantaneo
- $PM1$  un valore di soglia di massima potenza
- $Pm1$  un valore di soglia di minima potenza
- $T_{BL}$  un valore inferiore della temperatura del boiler
- $T_{BH}$  un valore superiore della temperatura del boiler

#### 5.4.3 Controllo T2

Forzando il setpoint  $T_S$  dei termostati locali è possibile ridurre il picco potenza elettrica in caso di carico eccessivo, oppure accumulare energia in caso di carico basso o negativo, in base alle seguenti regole:

- Se  $p(t) > PM2$ , allora il BEMS forza  $T_S$  riducendolo da  $T_{SN}$  a  $T_{SL}$
- Se  $P(t) < Pm2$ , allora il BEMS forza  $T_S$  aumentandolo da  $T_{SN}$  a  $T_{SH}$

Con:

- $PM2$  un valore di soglia di massima potenza
- $Pm2$  un valore di soglia di minima potenza
- $T_{SL}$  un valore inferiore della temperatura di set point del termostato
- $T_{SH}$  un valore superiore della temperatura di set point del termostato

$T_{SL}$  e  $T_{SH}$  possono variare di una quantità tra  $0.5^\circ\text{C}$  e  $1^\circ\text{C}$  da  $T_{SN}$ , compatibilmente con la temperatura esterna e la stagione, in modo da non pregiudicare il comfort dell'utente.

#### 5.4.4 Controllo T3

È possibile ridurre il carico istantaneo  $p(t)$  attuando una programmazione oraria della transizione tra modalità economy (TEN) e una modalità di pre-comfort (TPN) nelle unità, nelle prime ore della mattina e – in caso di assenza – precedentemente al rientro degli utenti. Tale strategia di controllo si dimostra particolarmente efficace durante le ore dei pasti, in quanto è in grado di evitare la contemporaneità con la cucina a induzione. Il controllo può funzionare sia in modalità automatica, attraverso il BEMS, semplicemente programmando gli orari di attivazione, sia in modalità manuale da parte degli utenti, attraverso l’HIS, da remoto.

Questo tipo di controllo è in grado di migliorare fortemente il comfort degli utenti, in quanto riduce drasticamente il transitorio di riscaldamento degli ambienti nel passaggio da TEN a TBN, come verrà illustrato nei risultati relativi al case study.

Il controllo può essere operativo continuativamente e inoltre può migliorare il proprio funzionamento nel corso della vita dell’edificio, in quanto nel corso del tempo una grande quantità di misure è resa disponibile al BEMS. Il BM può valutare i profili di carico effettivi e in base ad essi perfezionare il controllo.

Il set point di precomfort TPN è inferiore a TSN e superiore a TEN; può variare in modo coordinato con le variazioni della temperatura esterna.

L’architettura del sistema di controllo è schematizzata nella figura REF. Il BEMS riceve segnali da dispositivi in campo (meter) e, di conseguenza, attua la programmazione oraria (ex ante) e l’esercizio (quasi in tempo reale) dei boiler, della pompa di calore e dei termostati.

#### 5.4.5 Controllo SA (Smart appliance management)

È possibile controllare il carico globale dell’edificio attraverso la programmazione degli elettrodomestici smart, in accordo con gli utenti che si prestino a tale operazione e seguendo delle funzioni obiettivo.

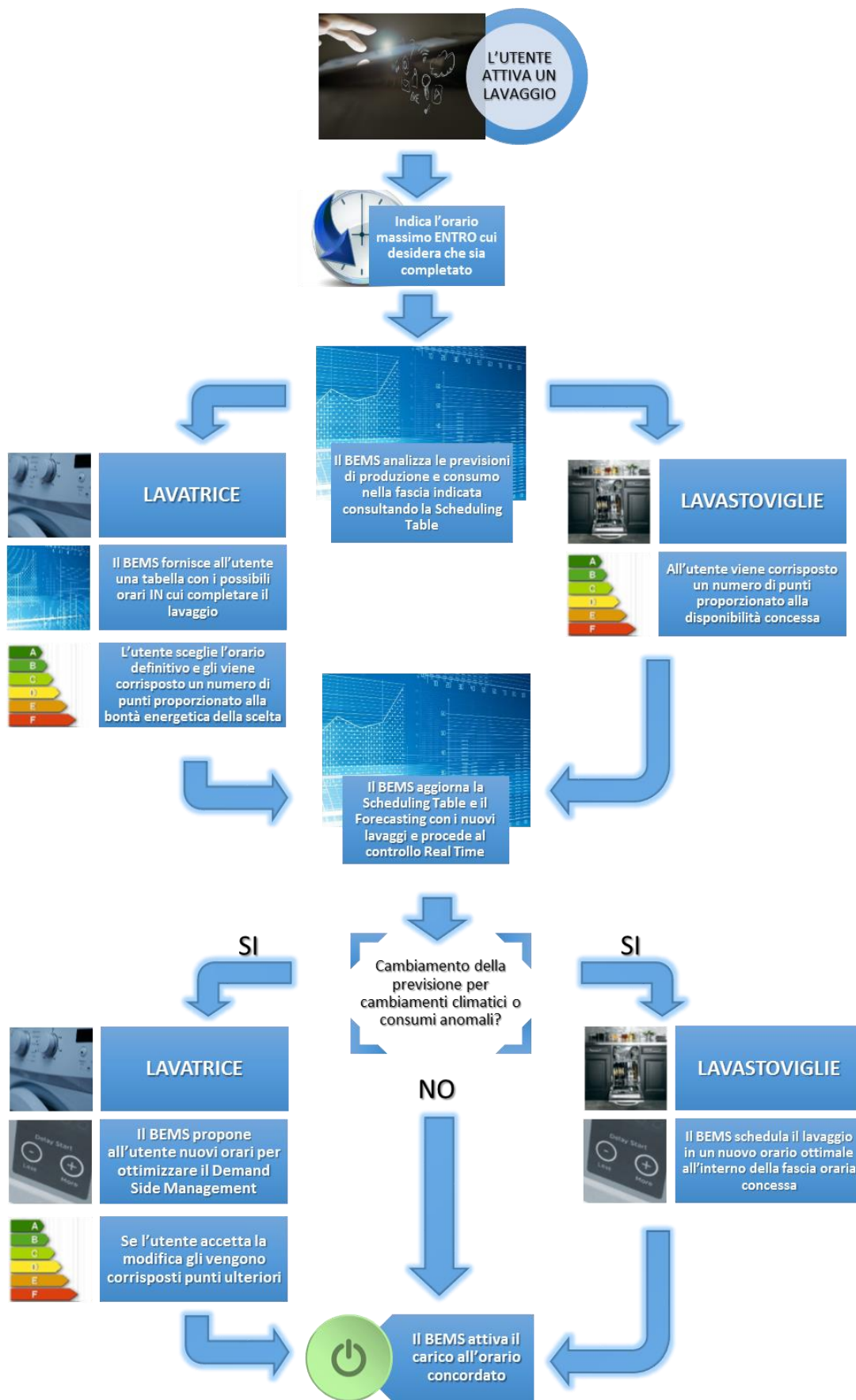
Gli elettrodomestici oggetto del controllo sono le lavatrici (WM) e le lavastoviglie (DW).

L’utente interagisce con l’elettrodomestico attraverso l’HIS. Il BEMS riceve il segnale di un nuovo ciclo in partenza proveniente dal supervisore locale (LS) connesso all’HIS. Il BEMS mostra la tabella di programmazione oraria o “scheduling timetable” (ST) con un indicatore del costo effettivo del ciclo (rosso, giallo o verde). L’utente decide quindi l’orario migliore compatibilmente con il costo effettivo e con le proprie esigenze e stabilisce l’orario in cui il ciclo di funzionamento dell’elettrodomestico deve essere terminato. I vincoli adottati sono:

- Il ciclo della lavastoviglie deve essere terminato entro un orario  $x$  (a partire dal quale le stoviglie devono essere disponibili)
- Il ciclo della lavatrice deve essere terminato in corrispondenza di un orario  $y$  (in modo da evitare che il bucato resti all’interno della lavatrice)

Il BEMS programma (Ex ante) gli orari di attivazione degli elettrodomestici e aggiorna la ST comprendendo tutti gli elettrodomestici dell’edificio. Periodicamente il BEMS invia la ST al cloud; questo acquisisce la ST aggiornata e regola gli orari di attivazione in base ad essa. Inoltre il cloud comunica con gli elettrodomestici via TCP/IP.

Il BEMS può anche operare in tempo reale, per evitare improvvisi sovraccarichi o compensare improvvise variazioni della generazione PV. Inoltre opera in modo da evitare sovraccarichi locali sulle alimentazioni delle utenze.



## 6 Case study – complesso Le Torri di Campobasso

### 6.1 Caratteristiche del complesso

Oggetto dello studio è un complesso edilizio situato a Campobasso, costituito da due edifici in elevazione ad uso residenziale ed una piastra centrale dedicata a uso commerciale e area parcheggio.

I due corpi fabbrica in elevazione (denominati rispettivamente Torre A e Torre B) sono destinati come segue:

- la Torre A è a uso residence (unità in locazione),
- la Torre B è a uso unità abitative private (in vendita).

In Figura 76 si riporta lo stato dei lavori a marzo 2016.



**Figura 76. Stato dei lavori a marzo 2016**

Come si può vedere, gli edifici sono ormai ultimati nella parte strutturale. Sono in corso di realizzazione la parte impiantistica e le rifiniture. L'idea della proprietà è di attivare la prima torre entro la fine del 2016.

In Figura 77 si riporta l'area in cui è situato il complesso edilizio. La struttura è situata a Sud del centro cittadino, presso l'Università degli Studi del Molise.



**Figura 77. Area del complesso edilizio**

I dati principali relativi alla struttura edilizia sono sintetizzati in Figura 78 che presenta un estratto dalla relazione tecnica.

## Dati edificio

### Località

<b>Comune:</b>	Campobasso	<b>Zona climatica:</b>	E
<b>Latitudine:</b>	41,56 °	<b>Gradi Giorno:</b>	2346
<b>Altitudine:</b>	701 m	<b>Temperatura esterna di progetto:</b>	-4 °C

### Edificio

<b>Categoria:</b>	Residenziale / Alberghi		
<b>Destinazione:</b>	Abitazione	<b>n° di abitanti:</b>	300
<b>Sup. riscaldata/utile:</b>	11100 mq	<b>Volume netto:</b>	30000 mc
<b>Sup. raffrescata:</b>	11100 mq	<b>Locale tecnico:</b>	Sì
<b>n° di piani:</b>	10	<b>Piscina:</b>	No
<b>Tetto:</b>	Tetto a falda	<b>Orientamento:</b>	0 °
		<b>Inclinazione:</b>	18 °
<b>Tipo intervento:</b>	Nuova costruzione		

### Prestazione Energetica

*L'indice di prestazione energetica EPH esprime il fabbisogno di energia dell'involucro per il riscaldamento invernale. L'indice di prestazione energetica EPC esprime il fabbisogno di energia dell'involucro per il raffrescamento estivo.*

<b>EPH involucro:</b>	40 kWh/mq anno
<b>EPC involucro:</b>	11 kWh/mq anno

**Figura 78. Dati salienti della struttura edilizia**

Lo schema in Figura 79 riporta l'ubicazione delle varie destinazioni d'uso all'interno del complesso edilizio.

Per ogni piano è indicato il numero di appartamenti e la potenza elettrica disponibile prevista per ciascun appartamento. Le sigle sono così definite:

- A: torre residence
- B: torre residenziale privati
- C: commerciale(suddiviso in CA e CB)
- P: parcheggi
- UC: servizi comuni

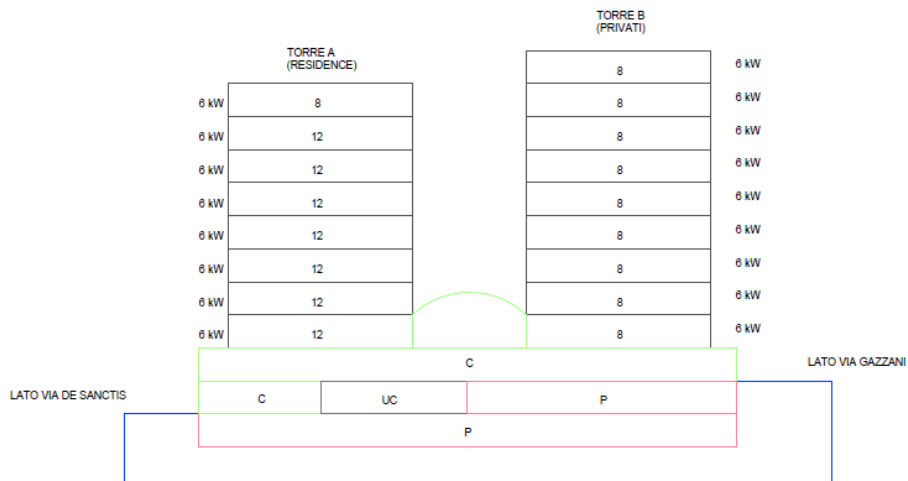


Figura 79. Schema delle unità immobiliari

La torre A è costituita da 92 unità residenziali, di superficie mediamente pari a 40-50 m<sup>2</sup> (Figura 80).  
 La torre B è costituita da 72 unità residenziali, di superficie mediamente pari a 75 m<sup>2</sup>.

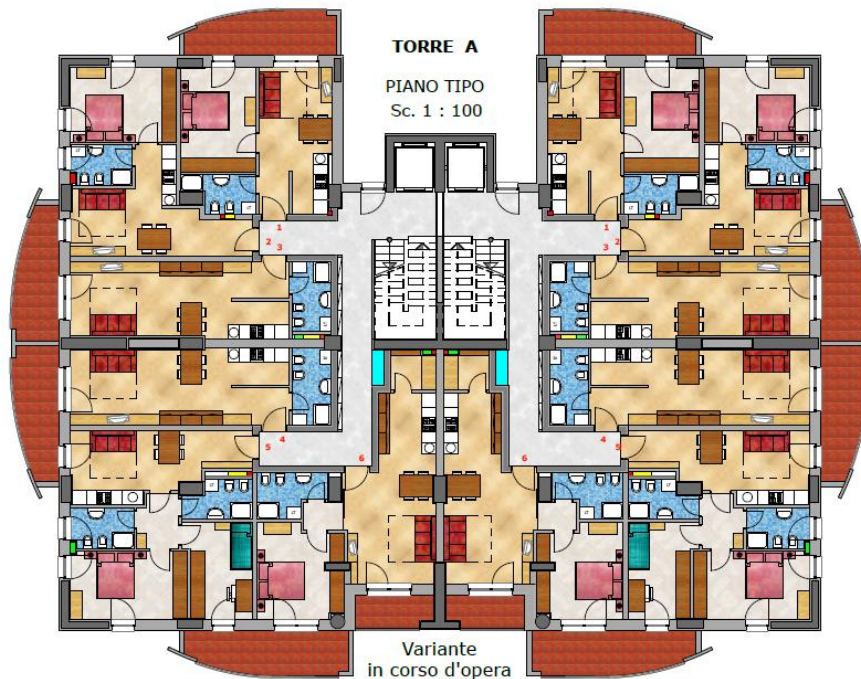


Figura 80. Piano tipo della torre A



La zona commerciale C è ammonta complessivamente a circa 2000 m<sup>2</sup>, ripartiti in 1000 m<sup>2</sup> relativi alla Torre A e 1000 m<sup>2</sup> alla Torre B.

La zona parcheggi P è costituita da una superficie di circa 2000 m<sup>2</sup>, destinata in parte a parcheggi privati ed in parte a parcheggi pubblici.

All'interno del complesso edilizio sono presenti le utenze energetiche di seguito elencate, con la rispettiva sigla:

- CTA, centrale termica per la torre A ed il commerciale CA ricadente nella Torre A;
- CTB, centrale termica per la torre B ed il commerciale CB ricadente nella Torre B;
- P, parcheggio privato e parcheggio pubblico
- UC, utenze comuni per illuminazione, ventilazione, idrico etc.
- UEA, utenze elettriche della torre A
- UEC, utenze elettriche del commerciale.

In una prima fase la proprietà ha deciso di attivare la sola torre A in modalità residence ovvero con locazione delle unità immobiliari per brevi e medi periodi con contratto che prevede oltre alla locazione anche le utenze energetiche elettriche di riscaldamento e di acqua calda sanitaria.

Le simulazioni condotte pertanto si sono riferite alle sole utenze energetiche presenti nella torre A.

## 6.2 Caratteristiche costruttive

Nelle tabelle che seguono si riportano le caratteristiche costruttive dell'edificio

**Tabella 28. Caratteristiche delle pareti**

Pareti	Intonaco interno	Mattone interno	Isolante	Mattone esterno	Intonaco esterno	Totale
Spessore [m]	0,015	0,12	0,12	0,12	0,015	<b>0,39</b>
T Penetraz [s]	1414	103053	10225	103053	1414	
Lambda [W/(m K)]	0,700	0,590	0,035	0,590	0,700	
c [J/(kg K)]	1000	840	2300	840	1000	
rho [kg/(m <sup>3</sup> )]	1400	1600	30	1600	1400	
Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]						<b>0,25</b>

**Tabella 29. Caratteristiche dei solai intermedi**

Solaio interpiano	Controsoffitto cartongesso	Pignatte	Calcestruzzo magro	Massetto	Pannello fibra di legno	Parquet	Totale
Spessore [m]	0,015	0,25	0,05	0,10	0,03	0,02	<b>0,47</b>
T Penetraz [s]	675	527788	80028	81914	32314	12818	
Lambda [W/(m K)]	0,66	0,250	0,190	0,27	0,14	0,20	
c [J/(kg K)]	840	840	880	880	2000	2400	
rho [kg/(m <sup>3</sup> )]	750	800	2200	800	800	850	

**Tabella 30. Caratteristiche dei tramezzi**

Tramezzi	Intonaco calce e gesso	Mattone forato	Intonaco calce e gesso	Totale
Spessore [m]	0,015	0,08	0,015	<b>0,11</b>
T Penetrazione [s]	1285	74775	1285	
Lambda [W/(m K)]	0,770	0,484	0,770	
c [J/(kg K)]	1000	1000	1000	
rho [kg/(m <sup>3</sup> )]	1400	1800	1400	

**Tabella 31. Caratteristiche della copertura**

Copertura	Intonaco calce e cemento	Soletta Cemento armato	Isolante	Piastrelle ceramica	Totale
Spessore [m]	0,015	0,24	0,067	0,015	<b>0,255</b>
T Penetraz [s]	1286	389256	18360	1555	
Lambda [W/(m K)]	0,9	0,900	0,035	0,720	
c [J/(kg K)]	910	880	2300	880	
rho [kg/(m <sup>3</sup> )]	1800	2200	30	1800	

Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati sulla profondità di penetrazione periodica. In grigio sono riportati i valori associati agli strati di parete o copertura non interessati dall'onda termica entro le 24 ore.

**Tabella 32. Profondità di penetrazione per sollecitazione periodica (pareti)**

Pareti	Intonaco interno	Mattone interno	Isolante	Mattone esterno	Intonaco esterno	Totale
Spessore [m]	0,015	0,12	0,05	0,12	0,015	<b>0,32</b>
T penetrazione [s]	1414	103053	10225	103053	1414	
Lambda [W/(m K)]	0,700	0,590	0,053	0,590	0,700	
c [J/(kg K)]	1000	840	2300	840	1000	
rho [kg/(m <sup>3</sup> )]	1400	1600	30	1600	1400	
delta_T1 [m]	0,010	0,000	0,012	0,000	0,010	<b>0,010</b>
delta_T2 [m]	0,015	0,017	0,019	0,017	0,015	<b>0,032</b>
delta_T3 [m]	0,015	0,109	0,019	0,109	0,015	<b>0,124</b>
delta_T1 [mm]	9,772	0,000	12,112	0,000	9,772	<b>9,772</b>
delta_T2 [mm]	15,000	17,479	18,592	17,479	15,000	<b>32,479</b>
delta_T3 [mm]	15,000	108,975	18,592	108,975	15,000	<b>123,975</b>
	T [s]	T [s]				
T_1 = 10 min	600	0				
T_2 = 1 h	1414	2186				
T_3 = 24 h	1414	84986				
T_3 = 24 h	1414	84986				

Come si può notare, l'indice di penetrazione periodica, dopo 10 minuti, non supera i 10 mm di spessore, quindi non attraversa la totalità dell'intonaco interno (delta\_T1).

Dopo 1 ora, l'indice di penetrazione copre tutti i 15 mm di intonaco interno più circa 17 mm di mattone interno (delta\_T2).

Dopo 24 ore, copre ancora i 15 mm di intonaco più circa 109 mm di mattone (delta\_T3). Analogo discorso è stato fatto relativamente al soffitto interpiano.

**Tabella 33. Profondità di penetrazione per sollecitazione periodica (soffitto interpiano)**

Soffitto interpiano	Controsoffitto cartongesso	Pignatte	Calcestruzzo magro	Massetto	Pannello fibra di legno	Parquet	Totale
Spessore [m]	0,015	0,25	0,05	0,10	0,03	0,02	<b>0,47</b>
T penetrazione [s]	675	527788	80028	81914	32314	12818	
Lambda [W/(m K)]	0,66	0,250	0,190	0,27	0,14	0,20	
c [J/(kg K)]	840	840	880	880	2000	2400	
rho [kg/(m <sup>3</sup> )]	750	800	2200	800	800	850	
delta_T1 [m]	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	<b>0,018</b>
delta_T2 [m]	0,015	0,019	0,000	0,000	0,000	0,01	<b>0,044</b>
delta_T3 [m]	0,015	0,101	0,000	0,000	0,045	0,02	<b>0,181</b>
delta_T1 [mm]	14,145	0,000	0,000	0,000	0,000	4,33	<b>18,472</b>
delta_T2 [mm]	15,000	18,612	0,000	0,000	0,000	10,60	<b>44,211</b>
delta_T3 [mm]	15,000	100,755	0,000	0,000	45,271	20,00	<b>181,025</b>
	T [s]	T [s]					
T_1 = 10 min	600	0			0	600	
T_2 = 1 h	675	2925			0	3600	
T_3 = 24 h	675	85725			73582	12818	

Dopo 10 minuti l'onda termica non ha superato il controsoffitto di cartongesso, mentre dopo 1 ora l'onda termica interessa tutto il controsoffitto e parte delle pignatte.

Dopo 24 ore non supera lo spessore delle pignatte.

Per quanto riguarda il soffitto, è stato fatto analogo ragionamento considerando anche il pavimento, quindi si è calcolata la penetrazione a partire dal parquet. In questo caso, dopo 1 ora l'onda termica interessa solamente il parquet e dopo 24 ore interessa anche parte del pannello in fibra di legno.

Per i tramezzi, il metodo va applicato due volte, in quanto per lo stesso tramezzo la penetrazione interessa entrambe le superfici a contatto con i due ambienti separati. Questo è l'unico caso in cui dopo 24 ore l'onda termica attraversa tutta la parete (mentre nell'arco dell'ora interessa intonaco e mattone forato).

**Tabella 34. Profondità di penetrazione per sollecitazione periodica (tramezzi)**

Tramezzi	Intonaco calce e gesso	Mattone forato	Intonaco calce e gesso	Totale
Spessore [m]	0,015	0,08	0,015	<b>0,11</b>
T penetrazione [s]	1285	74775	1285	
Lambda [W/(m K)]	0,770	0,484	0,770	
c [J/(kg K)]	1000	1000	1000	
rho [kg/(m <sup>3</sup> )]	1400	1800	1400	
delta_T1 [m]	0,010	0,000	0,000	<b>0,010</b>
delta_T2 [m]	0,015	0,014	0,000	<b>0,029</b>
delta_T3 [m]	0,015	0,085	0,015	<b>0,100</b>
delta_T1 [mm]	10,249	0,000	0,000	<b>10,249</b>
delta_T2 [mm]	15,000	14,076	0,000	<b>29,076</b>
delta_T3 [mm]	15,000	85,352	14,999	<b>100,352</b>
	T [s]	T [s]		
T_1 = 10 min	600	0		
T_2 = 1 h	1285	2315		
T_3 = 24 h	1285	85115	1285	

La copertura è stata trascurata nel caso specifico dell'unità abitativa considerata, tuttavia dovrebbe essere presa in considerazione al posto del soffitto interpiano nel caso di unità abitativa posta all'ultimo piano. Anche in questo caso la penetrazione a 1 ora e a 24 ore interessano intonaco e soletta di cemento armato.

**Tabella 35. Profondità di penetrazione per sollecitazione periodica (copertura)**

Copertura	Intonaco calce e cemento	Soletta Cemento armato	Isolante	Piastrelle ceramica	Totale
Spessore [m]	0,015	0,24	0,067	0,015	<b>0,255</b>
T penetrazione [s]	1286	389256	18360	1555	
Lambda [W/(m K)]	0,9	0,900	0,053	0,720	
c [J/(kg K)]	910	880	2300	880	
rho [kg/(m <sup>3</sup> )]	1800	2200	30	1800	
delta_T1 [m]	0,010	0,000	0,000	0,009	<b>0,010</b>
delta_T2 [m]	0,016	0,019	0,024	0,015	<b>0,034</b>
delta_T3 [m]	0,016	0,112	0,144	0,015	<b>0,128</b>
delta_T1 [mm]	10,244	0,000	0,000	9,317	<b>10,244</b>
delta_T2 [mm]	15,724	18,502	23,783	15,000	<b>34,227</b>
delta_T3 [mm]	15,724	112,226	144,257	15,000	<b>127,950</b>
	T [s]	T [s]			
T_1 = 10 min	600	0			
T_2 = 1 h	1555	2314			
T_3 = 24 h	1555	85114			

### 6.3 Impianto elettrico, domotico e di building automation

Per quanto riguarda l'impianto elettrico delle aree residenziali, ciascuna unità è servita da una dorsale dedicata, con partenza da un locale tecnico situato al piano terra. Ogni appartamento è dotato di un quadro elettrico di appartamento per l'alimentazione dell'impianto di illuminazione, delle prese e della cucina con elementi ad induzione. In è rappresentato un esempio di quadro costituito da:

- Arrivo generale;
- Protezione magnetotermica differenziale per circuito luce;
- Protezione magnetotermica differenziale per circuito prese;
- Protezione magnetotermica differenziale per circuito cucina/elettrodomestici;
- Attuatore luci KNX
- Attuatore 8 canali



**Figura 81. Quadro elettrico/domotico di unità.**

I carichi elettrici prevedibili per ogni unità sono:

- apparecchi di illuminazione
- prese elettriche
- elettrodomestici per lavaggi (lavatrice e lavastoviglie)
- cucina a induzione
- forno elettrico

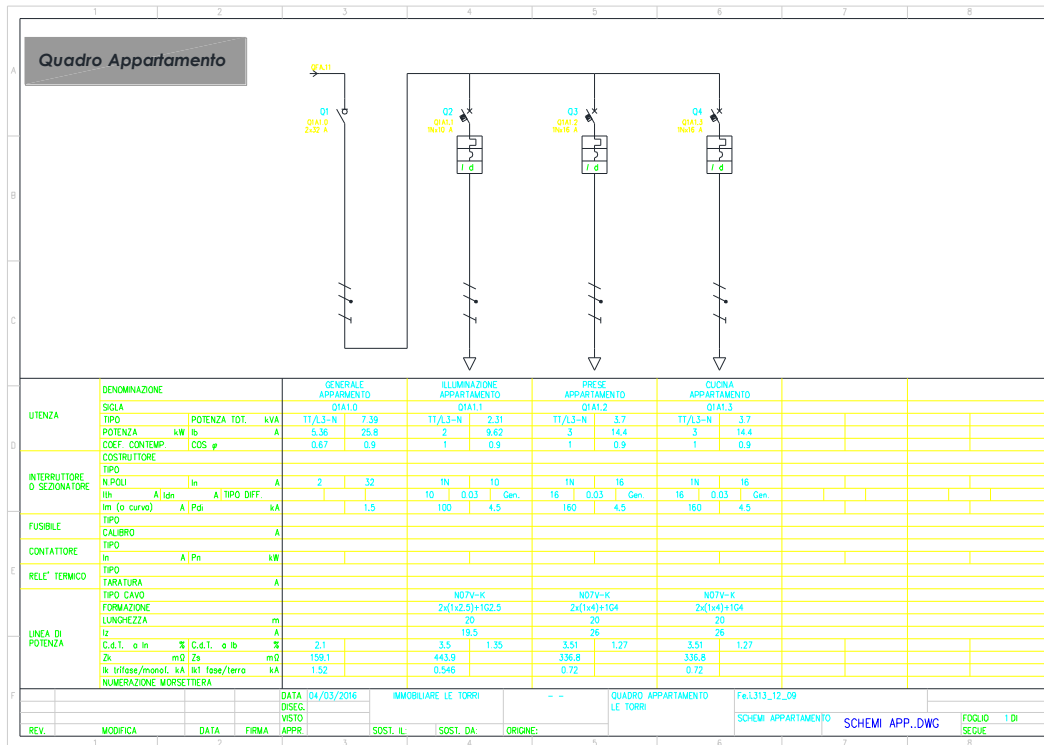


Figura 82. Schema del centralino d'appartamento

E' stata considerata una potenza massima di 6 kW per ciascuna unità, per tenere conto della presenza della cucina elettrica.

Uno dei vantaggi della rete elettrica proposta con fornitura unica e quadro generale di proprietà per la distribuzione ai singoli appartamenti è la flessibilità di esercizio con possibilità di esubero della potenza di 6 kW.

L'impianto elettrico di ogni unità è asservito a un sistema domotico di tipo BUS, realizzato mediante protocollo KNX, che gestisce l'illuminazione e la termoregolazione.

L'impianto di building automation HBES in protocollo KNX prevede numerose linee in partenza dal rack piano terra di edificio a 48 porte.

Ciascun piano di ciascuna torre è servita da una doppia linea KNX indipendente (Figura 83).



Figura 83. Architettura dell’impianto HBES

### 6.4 Impianto termico

L’impianto di riscaldamento/raffrescamento e di produzione di acqua calda sanitaria a servizio degli edifici è centralizzato con tecnologia a pompa di calore elettrica e geotermia.

Esso è costituito da due centrali termiche:

- CTA, a servizio della torre A e dell’utenza commerciale CA
- CTB, a servizio della torre B e dell’utenza commerciale CB.

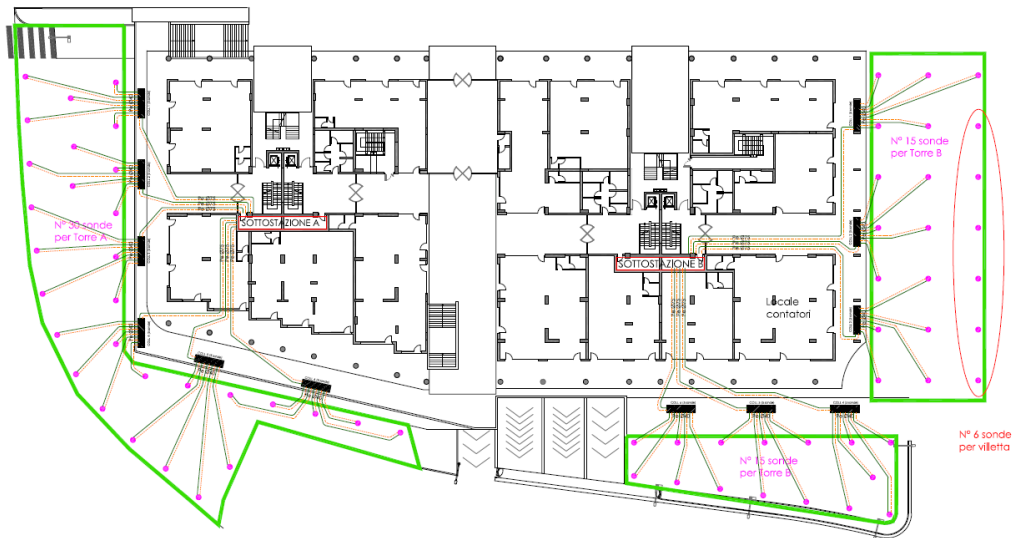
La generazione del fluido vettore è affidata a un sistema a pompe di calore integrato con sistema di geotermia.

Per la centrale termica CTA sono previste un totale di 3 pompe di calore:

- due pompe di calore geotermiche, del tipo Idrosistemi HCS 120, aventi ciascuna una potenza termica pari a 86,4 kW e potenza frigorifera pari a 120 kW, per le utenze civili A;
- una pompa aggiuntiva per le utenze commerciali CA.

Il sistema di geotermia a servizio della centrale termica CTA è costituito da (Figura 84):

- 30 sonde a 4 tubi PE32, conficcate alla profondità di circa 100 metri a servizio delle due pompe di calore per il residenziale A;
- 6, sonde identiche alle precedenti, a servizio della pompa di calore per il commerciale A.



**Figura 84. Schema delle sonde geotermiche**



**Figura 85. Fotografia dell'infilaggio di una sonda nel terreno.**

E' stato effettuato un GRT (ground response test) che ha fornito il valore di 48 Wt/m equivalenti di potenza termica scambiata dalle sonde geotermiche. La potenza termica proveniente dalla geotermia è dell'ordine di 180 kW (pari a 48 Wt/m per 100 metri per 36 sonde).

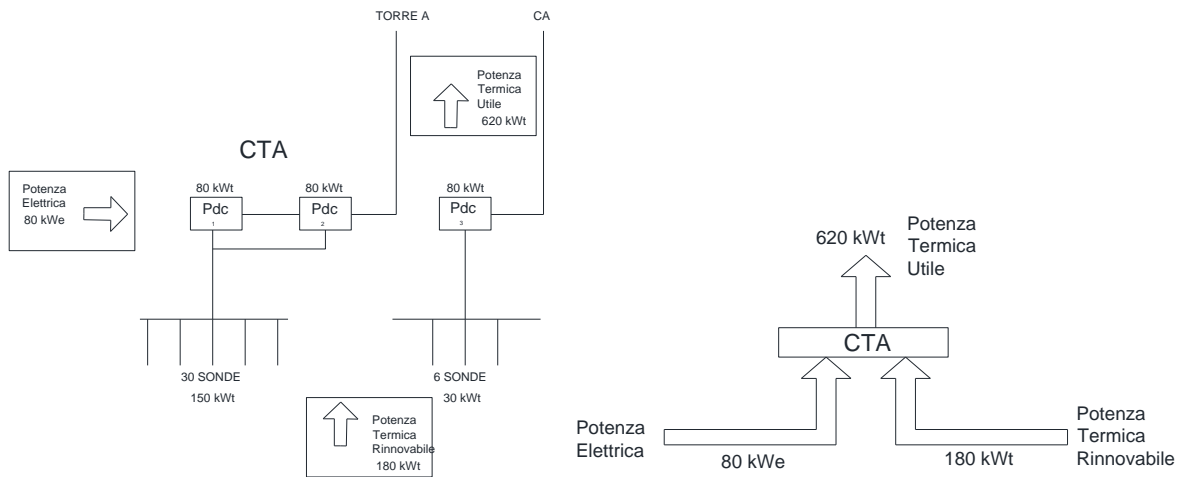


Figura 86. Schema dell'impianto termico riferito alla sola torre A oggetto di simulazioni

Il sistema di diffusione del calore per le unità residenziali A è a pannelli radianti, con un elemento a termoarredo per il bagno.

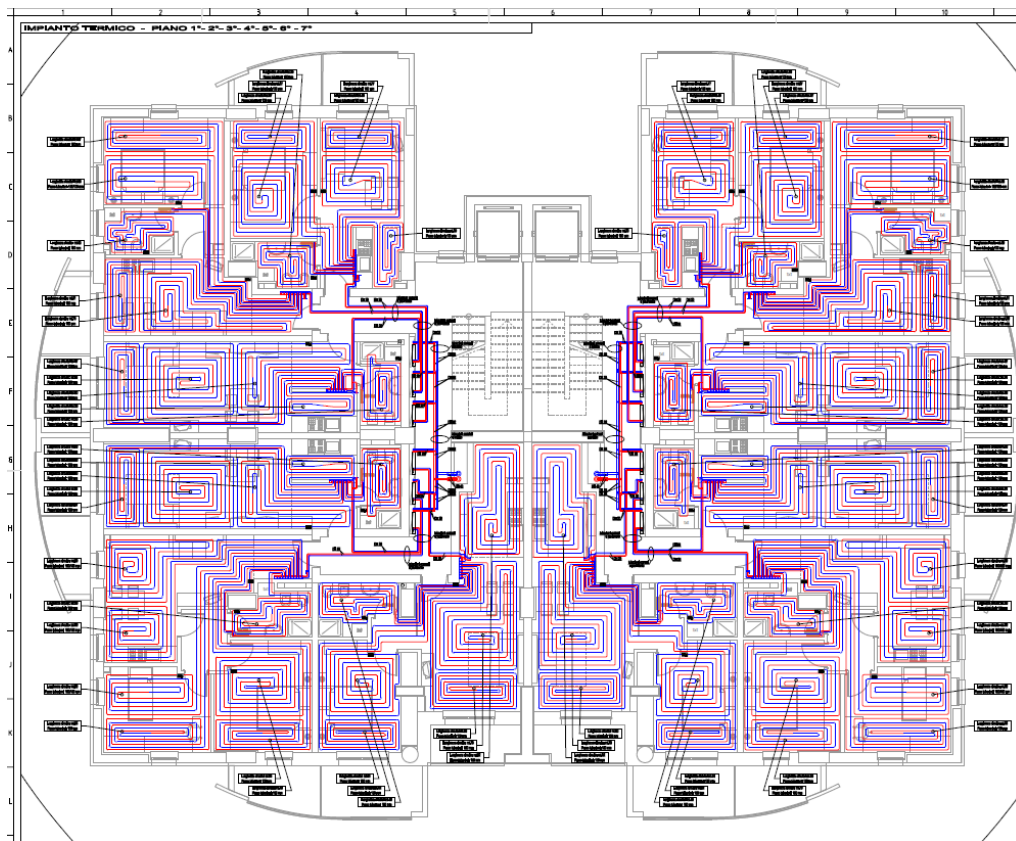


Figura 87. Schema dei pannelli radianti per la Torre A.

Per ogni unità residenziale è previsto un sistema di derivazioni per:

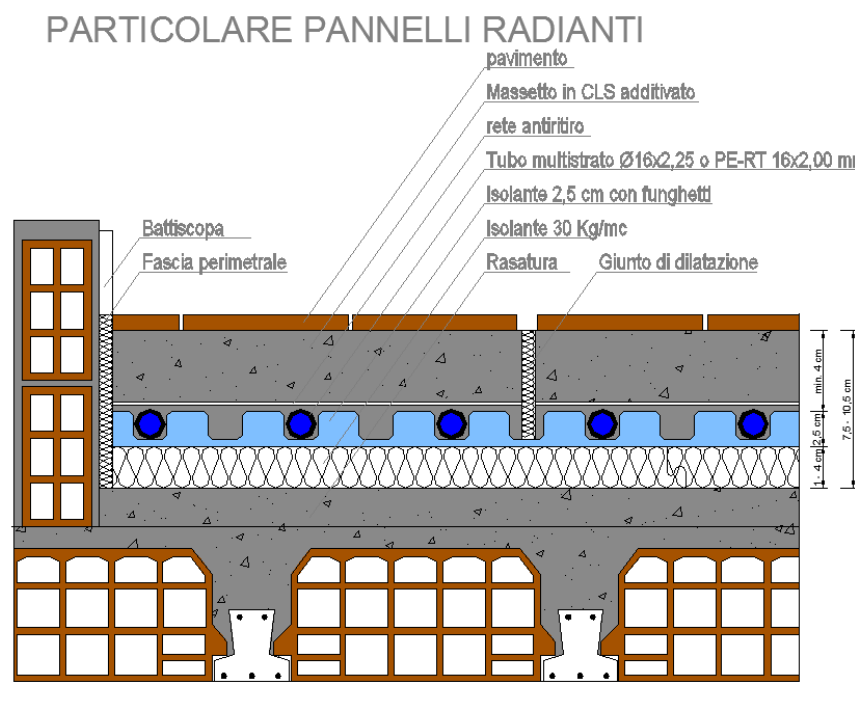
- il circuito unico dei pannelli radianti;
- l'acqua calda sanitaria caldo e freddo.





**Figura 88. Fotografia del cenro satellite con le derivazioni per le unità**

Le derivazioni sono collocate all'interno di un cenro satellite. E' presente un cenro satellite del tipo rappresentato in figura per ogni semipiano e quindi per 4 appartamenti (vedi Figura 88).



**Figura 89. Particolare della realizzazione dei pannelli radianti**

In Figura 89 è rappresentato il particolare del massetto con affogati i pannelli radianti. Il sistema di termoregolazione prevede un cronotermostato per ogni unità, collegato al sistema di supervisione e di building automation di edificio.

LEGENDA COIBENTAZIONI			
Tubo Ø	Spessore isolante tubazioni correnti nei controsoffitti e all'interno dei locali	Spessore isolante tubazioni correnti nei cavedi interni	Spessore isolante tubazioni correnti in area esterna e autorimesse
DN100	19 mm	30 mm	60 mm
DN80	19 mm	30 mm	55 mm
DN65	13 mm	25 mm	50 mm
DN50	13 mm	25 mm	50 mm
DN40	13 mm	20 mm	40 mm
DN32	13 mm	20 mm	40 mm
DN25	13 mm	20 mm	40 mm
DN20	9 mm	15 mm	30 mm
DN16	6 mm	10 mm	20 mm

N.B.: Gli spessori riportati sono riferiti ad un isolamento con conduttività termica utile pari a 0,040W/m°C alla temperatura media di + 40°C.

Figura 90. Coibentazioni utilizzate

In Figura 90 è riportato il dettaglio delle coibentazioni utilizzate nell’impianto. L’impianto consiste di tre circuiti, primario, secondario e terziario.

### 6.4.1 Circuito primario

Il circuito primario comprende le sonde geotermiche e la pompa di calore che produce acqua calda destinata al puffer d’accumulo. In Figura 91 riporta uno schema del circuito primario.

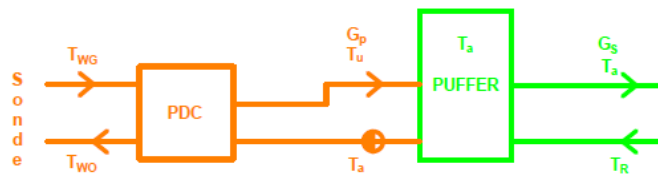


Figura 91. Schema del circuito primario

I simboli usati in figura sono così definiti:

- $T_{wg}$  Temperatura acqua proveniente dal campo geotermico
- $T_{wo}$  Temperatura acqua in uscita dallo scambiatore freddo
- $T_u$  Temperatura di uscita dell’acqua calda diretta al puffer
- $G_p$  Portata circuito primario
- $T_a$  Temperatura di accumulo del puffer e di ritorno alla pompa di calore

La potenza termica della pompa di calore, che corrisponde, secondo lo schema adottato, alla potenza del circuito primario, è:

$$P_t = P_p = G_p c_p (T_u - T_a)$$

A meno delle perdite nel puffer, essa è pari alla potenza associata al circuito secondario, come illustrato più avanti:

$$P_p = P_s + HS_{puff}(T_a(t) - T_{ac})$$

Da quest’ultima equazione si risale alla potenza nel circuito primario, avendo definito con  $T_{ac}$  la temperatura dell’ambiente dove è situato il puffer (temperatura ipotizzata pari a 30°C nella presente trattazione). Note la portata del primario, la potenza e la temperatura di accumulo, è possibile ricavare la temperatura di uscita dalla pompa di calore come:

$$T_u = T_a + \frac{P_p}{c_p G_p}$$

### 6.4.2 Circuito secondario

La porzione di impianto compresa tra il puffer e la valvola modulante che regola lo spillamento in appartamento costituisce il circuito secondario. L'equazione che esprime la potenza al circuito secondario è:

$$P_S = G_S c_p (T_a - T_R)$$

Per l'appartamento j-esimo, l'espressione della potenza al secondario è espressa come:

$$P_{appj} = P_{Sj} = G_{Sj} c_p (T_a - T_{Rappj})$$

In questa equazione l'unica incognita è la portata che arriva all'appartamento j-esimo, che può essere facilmente calcolata come:

$$G_{Sj} = \frac{P_{Sj}}{c_p (T_a - T_{Rappj})}$$

Si hanno ora tutti i dati per calcolare la portata totale del secondario, la potenza totale del secondario e la temperatura di ritorno al puffer.

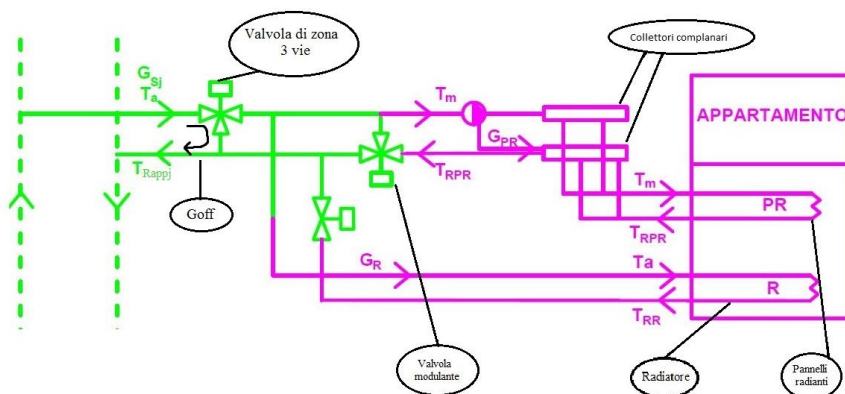
$$G_S = \sum G_{Sj}$$

$$P_S = \sum P_{Sj}$$

$$T_R = \frac{\sum G_{Sj} T_{Rappj}}{\sum G_{Sj}}$$

Nelle sommatorie vanno tenuti in conto gli appartamenti inutilizzati. Inoltre, i parametri variano a seconda della presenza in ambiente delle persone e dell'orario: infatti, sia in caso di assenza che durante la notte la temperatura di setpoint in ambiente varierà da 20°C a 16°C. Bisogna fare inoltre una distinzione dipendente dal tipo di valvola adottata dal circuito, a tre vie o a due vie, che nel case study dipende dal piano in cui si trovano gli appartamenti.

In Figura 92 si riporta uno schema di circuito con valvola a tre vie.



**Figura 92. Schema di circuito con valvola a tre vie**

### 6.4.3 Ventilazione meccanica dei locali

La ventilazione meccanica dei locali degli appartamenti per il ricambio d'aria è realizzata attraverso un sistema di 7 colonne di estrazione con bocchette di estrazione collocate nei servizi igienici e ripresa d'aria collocata nell'infisso principale di appartamento. Il sistema può essere ottimizzato mediante l'impiego di sistemi a recupero di calore.

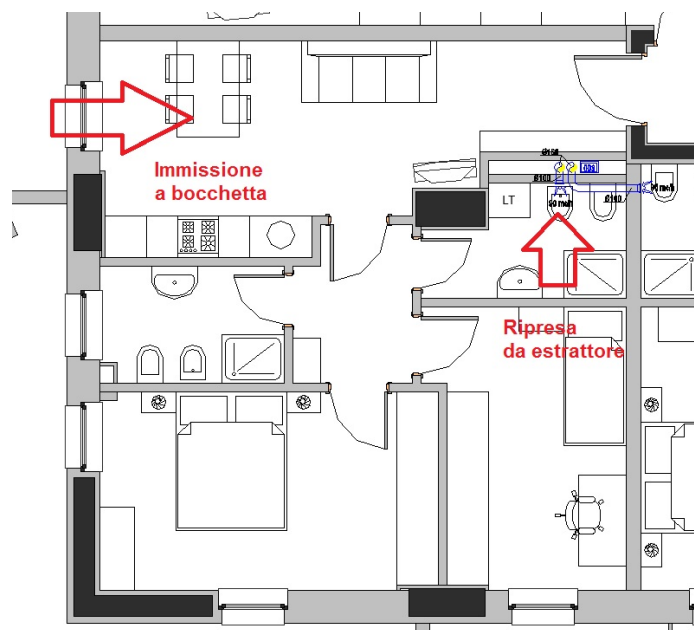


Figura 93. Ventilazione meccanica dei locali per ricambio d'aria

Ciascuna colonna è dotata di un estrattore di aria con portata 720 mc/h e prevalenza 230 Pa.

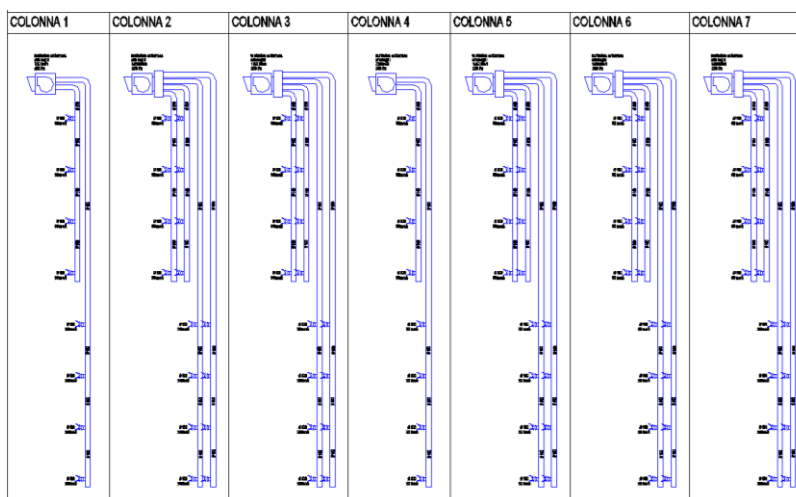
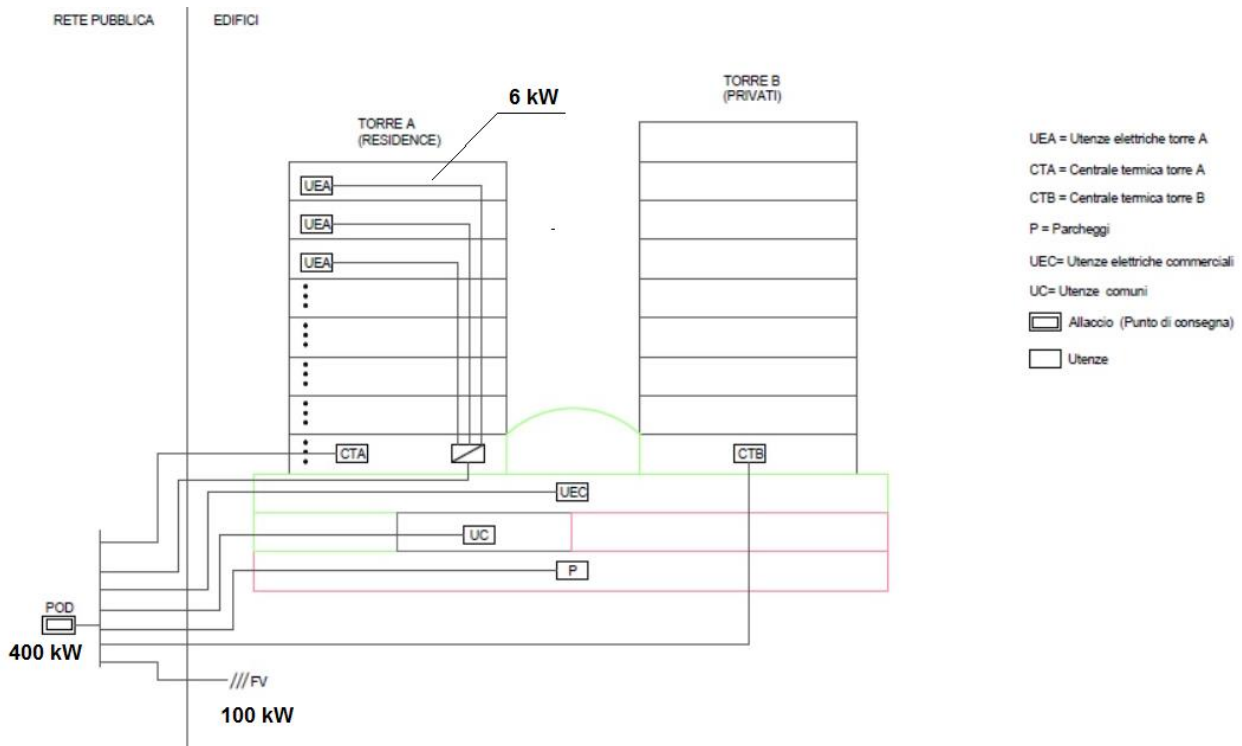


Figura 94. Sistema di ventilazione meccanica a 7 colonne

### 6.5 Allaccio unico alla rete elettrica

E' previsto un allaccio unico per le unità residenziali della torre A, per le unità commerciali CA e CB, per le centrali termiche e per tutte le utenze comuni come riportato in Figura 95. Restano escluse dall'allaccio le utenze indipendenti della torre B.



**Figura 95. Schema di allaccio alla rete elettrica**

Per la distribuzione fino alle unità si utilizzerà lo stesso quadro elettrico previsto nel caso di allacci indipendenti. In questo caso il quadro è alimentato non dai contatori singoli ma dal quadro generale di impianto di proprietà della società privata di gestione della torre.

Il punto di fornitura di energia dall'ente distributore in questo caso dovrà avere una potenza contrattuale maggiore di quella relativa ai soli servizi comuni per far fronte alla domanda di energia elettrica delle singole unità.

Considerando una potenza massima di unità pari a 6 kW, ed ipotizzando un coefficiente di contemporaneità pari a 0,25, si può stimare una potenza per le unità residenziali A pari a circa 140 kW.

Per le utenze commerciali, considerando una potenza media di 40 W/m<sup>2</sup>, si può stimare una potenza complessiva per le unità commerciali pari a circa 80 kW.

L'assorbimento elettrico del complesso è stato stimato in circa 250 kW di potenza media con massimo assorbimento di 400 kW.

Nella stima sono escluse le sole utenze residenziali della torre B perché escluse dalla micro grid comune prevista per il complesso.

**Tabella 36. Sinossi della potenza**

	max	med
	kW	kW
A (somma UEA)	140	80
CTA	80	50
CTB	80	50
CA e CB	80	60
P e UC	20	20
Totale	400	260

Tale fornitura è stata garantita dal distributore di zona (E-Distribuzione) attraverso un punto di fornitura in media tensione avente potenza di consegna pari a 400 kW.

E' stata realizzata quindi una cabina di trasformazione MT/BT, dotata di una macchina di potenza di targa pari a 400 kVA.

La cabina di trasformazione è stata collocata in prossimità dell'edificio entro manufatti prefabbricati.



**Figura 96. Cabina di consegna e di trasformazione.**

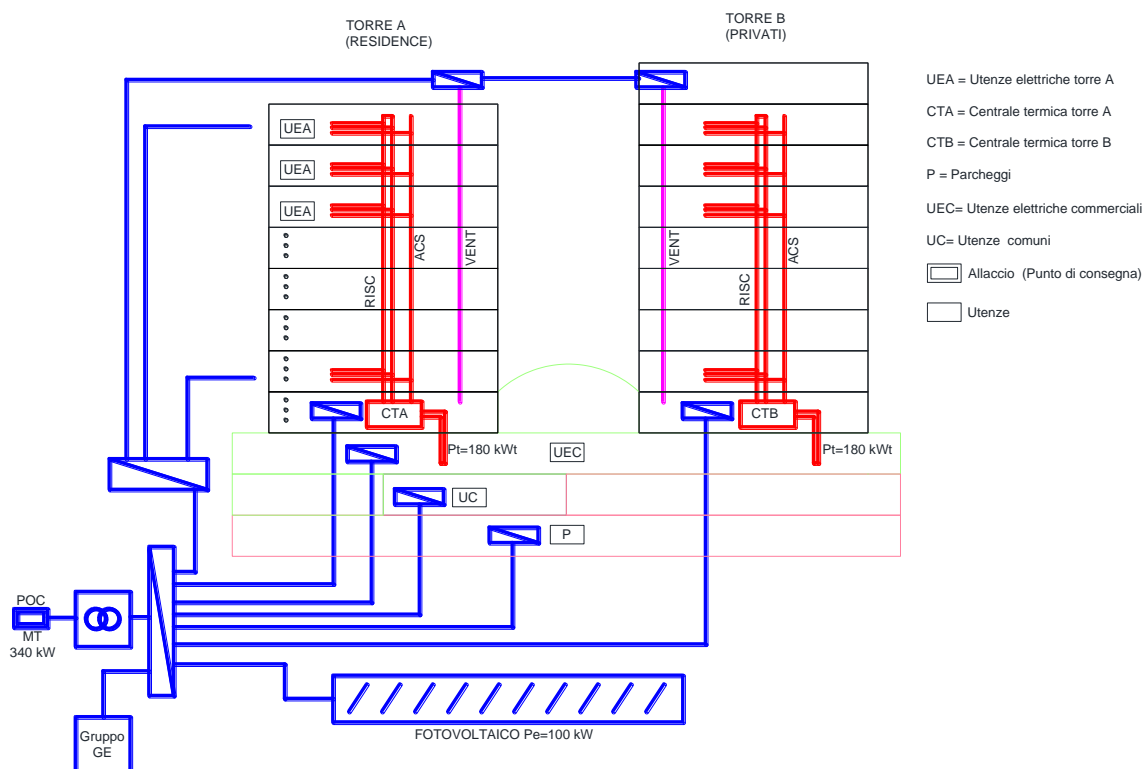


**Figura 97. Particolare delle cabine. A sinistra vano trasformatore e quadro di media tensione di proprietà. A destra vano misura e vano di consegna del distributore.**



**Figura 98. Particolare del vano conil trasformatore da 400 kVA.**

La presenza di un solo trasformatore non costituisce un problema dal punto di vista affidabilistico perché è presente un gruppo elettrogeno e un contratto con il manutentore con servizio H24 e sostituzione immediata del trasformatore.



**Figura 99. Schema della micro grid a servizio del complesso**

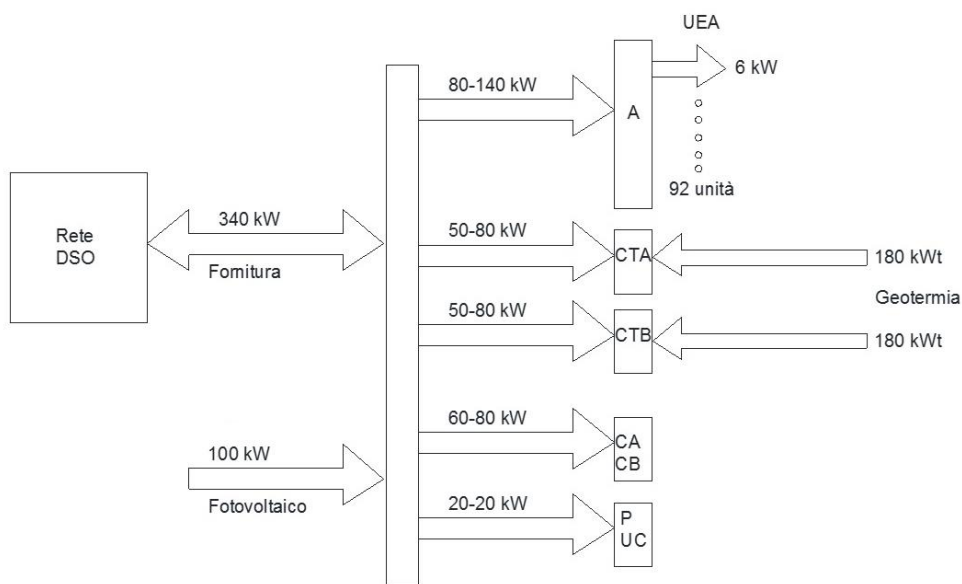


Figura 100. Schema dei flussi di potenza nella micro grid

Il quadro generale BT di cabina è costituito da:

- le protezioni a monte di tutto per le pompe antincendio;
- una protezione generale da 630 A per il collegamento con il quadro BT delle torri;
- la partenza per il quadro ausiliari di cabina completo di soccorritore;
- la partenza per gli aspiratori di cabina.

Il quadro BT delle torri è costituito da:

- un arrivo generale sezionatore da 800 A;
- una partenza per il quadro appartamenti torre A scala A da 200 A;
- una partenza per il quadro appartamenti torre A scala B da 200 A;
- un caposezione per la sezione utenze condominiali da 250 A che comprende la partenza da 200<sup>o</sup> per la centrale termica;

## 6.6 Aspetti innovativi del complesso “Le Torri” di Campobasso

Il complesso costituito da due edifici residenziali ed una piastra comune, nel suo progetto originario presenta aspetti innovativi che lo inquadrano nel panorama degli smart building e degli edifici ad energia quasi zero.

### Allaccio elettrico unico

La scelta di avere un allaccio elettrico unico rispetto alla soluzione con allacci indipendenti determina vantaggi sia di natura economica/energetica sia di natura tecnica.

I vantaggi di natura economica riguardano:

- uso di tariffa MT altri usi, invece della tariffa Bt usi residenziali;
- possibilità di sfruttare al meglio la generazione fotovoltaica incrementando la quota di autoconsumo;
- possibilità di ottimizzare la gestione dei carichi al fine di incrementare ulteriormente la quota di autoconsumo di energia generata localmente,
- possibilità di ottimizzare la gestione dei carichi al fine di ottimizzare gli oneri di acquisto dell’energia con contratti che tengano conto del profilo di assorbimento controllato;
- la gestione ottimizzata e di precisione del riscaldamento, potendo verificare ed impostare i setpoint delle unità;



- possibilità di implementare servizi innovativi di gestione dei carichi, quali in particolare la gestione ottimizzata del riscaldamento e la gestione ottimizzata dei lavaggi;
- la messa a punto di un sistema di supervisione e monitoraggio dei consumi consente un'ulteriore ottimizzazione energetica, poiché ciascun utente è a conoscenza dei propri consumi elettrici e termici e può di conseguenza ottimizzare le proprie abitudini.

I vantaggi di natura tecnica riguardano:

- la migliore qualità del servizio elettrico dovuto all'allaccio diretto in MT;
- la possibilità di migliorare ulteriormente la qualità del servizio prevedendo sistemi di generazione in emergenza;
- la sicurezza degli utenti per mezzo del sistema di distribuzione TN invece del sistema TT.

#### *Generazione elettrica*

La presenza di un impianto di generazione fotovoltaica di elevata potenza costituisce un servizio elettrico che se abbinato ad un sistema energetico coordinato costituisce una risorsa importante complesso energetico.

La potenza prevista è di 100 kW di punta.

L'assorbimento elettrico del complesso è stimato in circa 250 kW di potenza media con massimo assorbimento di 400 kW.

La potenza di generazione di 100 kW è una quota estremamente significativa dell'assorbimento medio di 250 kW che può determinare anche inversioni di flusso in giornate estive soleggiate con assorbimento scarico. Nel funzionamento estivo si può prevedere un assorbimento dell'edificio dell'ordine di 150 kW. E' prevedibile quindi che in alcune ore si possa avere un esubero di generazione.

#### *Impianti domotici negli appartamenti*

La dotazione impiantistica nelle unità residenziali di tipo domotico costituiscono un'innovazione importante.

Tale soluzione si presta ad un'integrazione di building automation a livello di edificio anche perché lo standard utilizzato consente un elevato livello di interoperabilità con sistemi di gestione energetica e di metering.

L'impianto domotico di appartamento consente:

- la gestione dell'illuminazione;
- la gestione della termoregolazione;
- la gestione di alcune utenze elettriche.

#### *Energia rinnovabile dal sottosuolo*

Gli impianti di riscaldamento e produzione e distribuzione di acqua calda sanitaria sono entrambi di tipo centralizzato.

Per la generazione dell'acqua calda sono previste pompe di calore a geotermia che sfruttano la temperatura costante del sottosuolo. Il contributo energetico della geotermia è rilevante.

Con i sistemi di regolazione avanzati proposti è possibile rendere l'edificio a ridotto consumo ed in alcuni momenti dell'anno ad assorbimento nullo di energia.

#### *Edificio "full electric"*

La soluzione adottata per gli impianti termici oltre ad avere elevati rendimenti per la presenza della fonte gratuita della geotermia presenta la caratteristica di essere alimentata completamente elettricamente.

Il vettore elettrico più nobile delle altre forme di energia, presenta indubbi vantaggi gestionali se abbinati ad una gestione comune con le altre utenze elettriche e con altri servizi di generazione e accumulo.

Non sono previste forniture di gas dalla rete pubblica.

Per la cottura sono previste cucine ad induzione.

#### *Accumuli termici centralizzati*

La presenza, per ogni torre, di un puffer di accumulo per la gestione del riscaldamento e tre boiler di accumulo per l'acqua calda sanitaria costituiscono sistemi di accumulo termico naturali.

Attraverso la gestione dei setpoint dei sistemi di accumulo è possibile sfruttare il sistema termico come volano energetico di elettricità.

#### *Accumuli termici distribuiti*

Le elevate prestazioni di isolamento dell'edificio abbinate al sistema di diffusione del calore a pavimento a bassa entalpia costituiscono di fatto un sistema di accumulo naturale interessante che si presta ad essere sfruttato nelle logiche gestionali.

### **6.7 Progetto di upgrade della rete a servizio del complesso**

La presente ricerca ha contribuito ad apportare importanti aspetti innovativi al progetto di per sé innovativo delle torri mediante la scelta fondamentale dell'allaccio unico e di ulteriori interventi che si riportano di seguito.

#### **6.7.1 Sistema di smart metering**

Il progetto di upgrade prevede la realizzazione di un sistema di smart metering completo costituito da:

- un sistema di misura distribuita per l'energia elettrica;
- un sistema di misura distribuita per l'acqua calda sanitaria, per il riscaldamento e per l'acqua potabile;
- un sistema di misura dei parametri ambientali.

Tutti i misuratori sono previsti del tipo comunicante per realizzare un sistema di misura distribuita.

L'archiviazione delle misure avviene sia a livello di misuratore, tramite il data logger presente, per le ultime misure (circa un anno), sia a livello centralizzato con archivio completo delle informazioni nel sistema SCADA di edificio.

La visualizzazione avviene sia interrogando il misuratore locale, sia a livello centralizzato tramite il sistema SCADA e sia attraverso un sistema di APP a disposizione di ogni utente.

Per quanto riguarda il metering elettrico è previsto un sistema di misura distribuita per l'elettricità consumata dalle singole utenze capace di fornire misure orarie e profili giornalieri dotato di:

- misuratori di energia elettrica per ogni utenza residenziale, allocati in partenza di ogni montante nel quadro generale di edificio;
- misuratori di energia elettrica per le utenze comuni accorpate (centrali termiche, illuminazione, ecc.);
- misuratore di energia elettrica per il fotovoltaico;
- misuratore di energia elettrico generale.

I misuratori sono previsti del tipo comunicante con standard tipo M-Bus o equivalente in modo da essere integrati nel sistema generale SCADA di edificio.

Si è fatto riferimento al dispositivo marca Electrex tipo ATTO D4 70A RS485 230-240V TRANSDUCER / ANALYZER che è un analizzatore di altissima versatilità e precisione realizzato con tecnica di misura digitale a microprocessore brevettata.



## Atto e Atto E-Wi

### Trasduttore Analizzatore di Energia

Atto è un trasduttore / analizzatore di energia a microprocessore estremamente versatile e preciso studiato per soddisfare le applicazioni più sofisticate di monitoraggio dei parametri elettrici e gestione dei consumi di energia elettrica in ambito civile, terziario e industriale. È disponibile una versione specifica per misure in corrente continua (ad es. per sistemi fotovoltaici e batterizzati).

Atto E-Wi ha le stesse caratteristiche dell'Atto senza ingressi e senza uscite e in più *rice-trasmette tutti i dati, senza limitazioni*, via onde radio (Wireless) utilizzando il protocollo E-Wi basato sullo standard IEEE 802.15.4.



**Figura 101. Strumento Atto E-Wi**

Il dispositivo è in grado di fornire oltre 60 misure incluse tensione massima e minima, corrente massima, termica e di neutro, distorsione armonica totale di fase, di tensione e di corrente (THD-U, THD-I), punta, potenza media con finestra mobile, valori di import ed export, energia attiva di fase, totale e parziale, energie su quattro quadranti. Misure in RMS fino alla 31<sup>a</sup> armonica. 0,5% di precisione su tensione e corrente. Classe 1 su energia attiva e classe 2 su quella reattiva secondo lo standard EN62053-21. Campionamento continuo delle forme d'onda di tensioni e correnti (60 campioni per periodo con PPL). Range di temperatura -10 + 50°C.

Lo strumento è equipaggiato con un trasformatore amperometrico di precisione (con traferro a grani orientati) in grado di leggere anche piccole correnti, con foro interno 9 mm.

Le misure fornite sono di RMS fino alla 31<sup>a</sup> armonica. Lo strumento può avere collegamento monofase e trifase. La classe di precisione è la Classe 1 sull'energia secondo CEI EN 61036.

Gli ingressi di tensione sono fino a 600 Vac . Gli ingressi di corrente sono max 5A (isolati).

Il tempo di integrazione è programmabile.

L'ingombro è di 4 moduli DIN.

Lo strumento è conforme alla norma EN 50470.

Le misure effettuate dall'analizzatore sono:

U Tensione in valore efficace RMS

I Corrente in valore efficace RMS

P Potenza Attiva importata/esportata

P.F. Fattore di Potenza (Cosφ)

S Potenza Apparente importata/esportata

Q Potenza Reattiva induttiva e capacitiva importata/esportata

P m Potenza Attiva media importata/esportata

S m Potenza Apparente media importata/esportata

P MD Potenza Attiva massima (punta) importata/esportata

S MD Potenza Apparente massima (punta) importata/esportata

E A Consumo di Energia Attiva importata/esportata \*

E R Consumo di Energia Reattiva importata/esportata\*

F Frequenza

Lo strumento Atto è dotato di una porta seriale RS485 con protezione contro le sovratensioni.

Il protocollo di comunicazione utilizzato è il Modbus-RTU "full compliant" idoneo per comunicazioni con PLC e con programmi SCADA. I dati elaborati sono letti come registri numerici composti da mantissa ed esponente informato IEEE. Una trasmissione fino a 38.400bps con max.125 registri richiedibili (pari a circa 62 parametri) senza tempi di attesa fra due richieste assicurano una velocità di dialogo ottima.

Atto E-Wi ha le stesse caratteristiche dell'Atto senza ingressi e senza uscite e in più rice-trasmette tutti i dati,

senza limitazioni, a 250kbps sulla frequenza di 2.4 GHz a una distanza che, senza rilancio del segnale, può variare tra gli 800 m in campo libero e i 10m nelle peggiori condizioni in ambiente chiuso (dipendente anche dal tipo di schedina di rice-trasmissione utilizzata).

Atto E-Wi utilizza il protocollo E-Wi basato sullo standard IEEE 802.15.4 e trasmette al Coordinatore oltre alle misure anche l'intensità e la qualità del segnale per facilitare la regolazione del corretto livello di comunicazione.

Per il collegamento con il sistema SCADA si prevede di utilizzare componenti tipo Electrex DISPOSITIVO DI GATEWAY E MEMORIZZAZIONE YOCTO NET D6 WEB che costituisce un network bridge tra la porta Ethernet e la porta RS485 per comunicazione e acquisizione in modbus da strumenti Electrex in sottorete.



Figura 102. Strumento Electrex Yocto net D6 Web

Yocto net D6 Web Log aggiunge la possibilità di registrare l'andamento nel tempo (funzione di data-logging) dei parametri energetici, ambientali e temporali acquisiti da strumenti Electrex collegati alla propria porta RS485. Se attivato un Log 8 gestisce 1 servizio di memorizzazione (ad esempio i suoi ingressi digitali e 7 strumenti con potenze/energie e ingressi digitali). Se attivati due Log 8, cioè diventa Log 16, gestisce 2 servizi di memorizzazione, e così di seguito fino allo Yocto net Log 64 dopo di che con apposito Puk è possibile espandere i Log 8 trasformandoli in Log 16 arrivando così a memorizzare fino a 128 strumenti.

Display FSTN grafico. Orologio/calendario astronomico perenne batterizzato e memoria non volatile di tipo industriale. Aggiornamento firmware da remoto. Server Web con attivato l'upgrade Web per la visualizzazione su pagina web delle misure istantanee. Altre funzioni attivabili tramite upgrade (PUK). Server FTP.

Yocto net D6 Web consente la supervisione e la gestione energetica di qualsiasi tipo di impianto: industriale, terziario, civile, energie alternative, ecc. Grazie allo Yocto net D6 Web e tutti gli altri strumenti Electrex è possibile misurare e gestire, con un unico sistema, qualsiasi genere di informazione energetica e ambientale: energia elettrica, gas, acqua, aria compressa, temperature, umidità, luminosità, CO<sub>2</sub>, ecc. Yocto net D6 Web consente l'accesso simultaneo da più postazioni tramite rete Ethernet agli strumenti e ai moduli Electrex connessi su linea RS485 e su ExpBus. Svolge inoltre le funzioni di server Modbus TCP/IP, server WEB e server FTP. Dotato di tecnologia NFC. Dimensione guida DIN 6 moduli. Alimentazione 85÷265Vac/100÷374Vdc. Per la configurazione dell'apparecchiatura, il gestore della rete informatica deve fornire i seguenti parametri:

- indirizzo ip statico
- gateway
- subnet mask
- dns

I misuratori avranno la possibilità di memorizzare le informazioni nel dispositivo stesso per una consultazione da parte dell'utente e saranno integrati in un sistema di misura distribuito integrato nel sistema SCADA generale.

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di misura per acqua calda, calore e acqua potabile costituito da misuratori allocati nelle cassette di smistamento al piano, del tipo:

- contatore acqua potabile

- contatore acqua calda sanitaria
- contacalorie riscaldamento

Per la misura delle calorie si è fatto riferimento allo strumento ISOFLUX - Contabilizzatore di energia compatto - comprensivo di sonde di temperatura PT500, 5 mt a 2 fili.

Esso è un contabilizzatore di energia compatto DN15 con protocollo di comunicazione MODbus, composto da un sensore di flusso a ultrasuono, una coppia di sonde di temperatura e una elettronica di calcolo. Questa elettronica, oltre ad ospitare il modulo di comunicazione protocollata, ha 2 ingressi impulsivi il cui dato viene trasmesso via bus. Si possono collegare all'IFX n°2 contatori meccanici per acqua calda e per acqua fredda, interrogando via M-BUS lo strumento si troveranno anche i dati di consumo acqua monitorati.



**Figura 103. Strumento IFX-Mx-03**

Caratteristiche dello strumento:

- Classe di precisione 2 by EN1434-1:2007.
- Unità energetiche kWh, MWh, GJ, Gcal
- Valore massimo della potenza termica 2,63 MW

Capacità del data logger:

- fino a 960 ore – per registrazioni orarie.
- fino a 1116 giorni -.per registrazioni
- fino a 36 ultimi mesi -.per registrazioni mensili,
- Tempo di conservazione dei dati non inferiore a 36 mesi
- Tempo di conservazione dei parametri integrati misurati

Anche se lo strumento è scollegato dall'alimentazione per non più di 15 anni.

I misuratori sono tutti comunicanti con il sistema centralizzato.

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di misura dei parametri ambientali più importanti:

- temperatura dell'aria,
- velocità del vento,
- umidità,
- presenza pioggia.

Sono previste poi sonde di temperatura per monitorare le centrali termiche. Le sonde sono da integrare nel sistema SCADA.

## 6.8 Sistema di accumulo elettrico

Il progetto di upgrade prevede la realizzazione di un sistema di accumulo elettrico distribuito basato su macchine del tipo UPQC (Unified Power Quality Conditioner). Questi dispositivi, adottando opportuni controlli e topologie circuitali, permettono il miglioramento del livello di qualità del singolo carico (o piccoli gruppi) alimentato.

Il sistema di UPQC distribuite sono installate in modalità "derivate" e sono dotate di un'unità di accumulo energetico.

Per ogni piano si prevede l'installazione di uno storage elettrico monofase di potenza dell'ordine di 3 kVA e capacità dell'ordine di 1 kWh. L'accumulo sarà collegato su una dorsale di appartamento. Il sistema di gestione degli 8 accumuli è previsto integrato nella gestione del BMS.

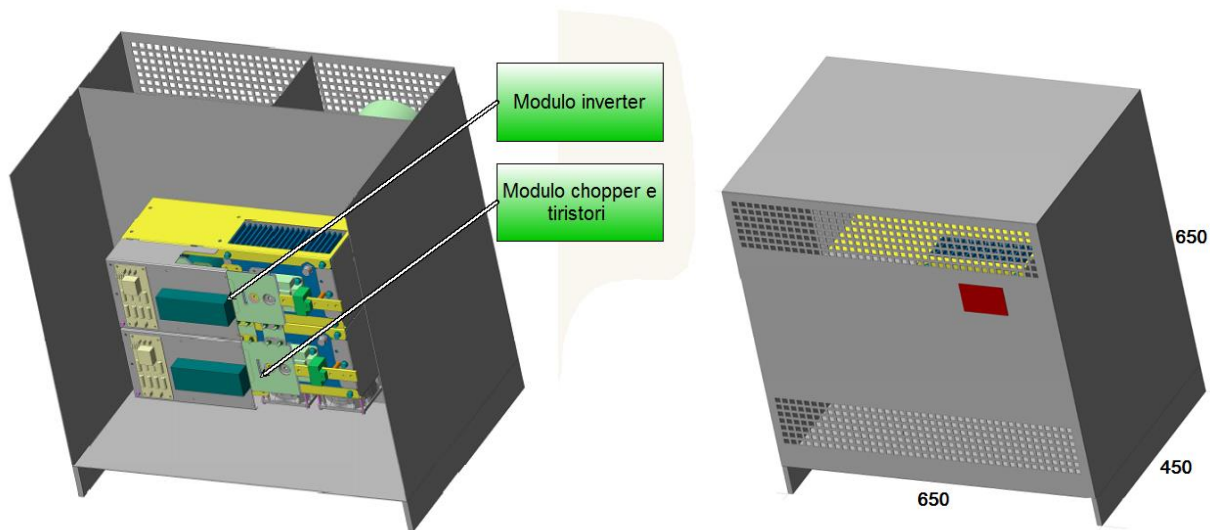


Figura 104. Ipotesi di lay-out a due strati inverter monofase (Vista anteriore) ed ipotesi di dimensioni in mm

Il convertitore può essere accostato al muro avendo l'accortezza di lasciare circa 3-4 cm di distanza allo scopo di permettere la libera circolazione dell'aria (eventualmente potranno essere previsti appositi distanziali posteriori).

### 6.9 Dorsale HBES Konnex di edificio

E' prevista la realizzazione di una dorsale backbone di edificio del sistema HBES su protocollo Konnex on IP. Si utilizzeranno accoppiatori TP/IP per ogni unità. La dorsale di edificio collega gli impianti domotici di appartamento attraverso accoppiatori di linea. Gli accoppiatori di linea garantiscono il collegamento bidirezionale tra linea primaria e linea secondaria e nello stesso tempo realizzano un filtro tra le comunicazioni in modo da evitare che informazioni private di appartamento o inutili ai fini gestionali di edificio siano convogliate verso la dorsale di edificio e viceversa.

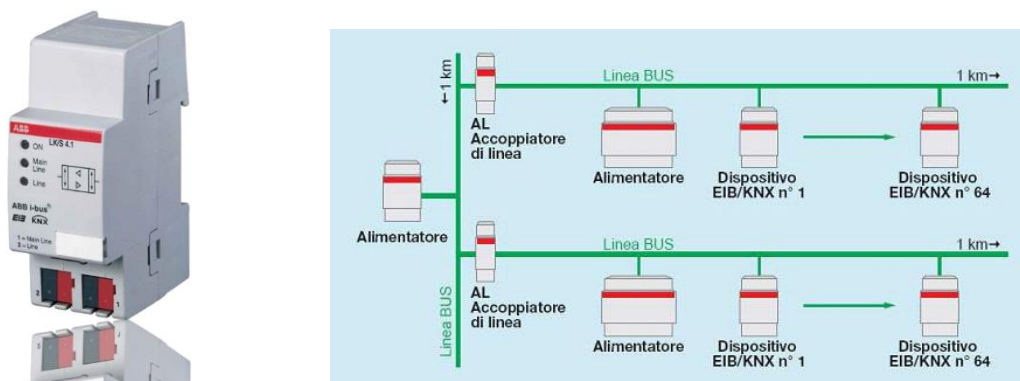


Figura 105. Accoppiatore di linea e schema di installazione dell'accoppiatore

Inoltre sulle linee principali bus di edificio sono collegati i dispositivi per la gestione degli impianti comuni.

### 6.10 Supervisore Konnex di appartamento.

Come intervento migliorativo proposto dallo studio, per ogni appartamento è prevista l'installazione di un supervisore Konnex con supervisore integrato.

Il supervisore è previsto del tipo Micro della Pulsar Engineering completo di modulo controllore Z-Wave in modo da poter integrare più protocolli di comunicazione ed in particolare il konnex di tipo cablato e lo Z-wave di tipo wireless.

Sul supervisore è allocato un sistema di supervisione locale del tipo ThinKnx per l'automazione della unità, basato su un'architettura del tipo client-server. La sezione dal lato server consiste in un dispositivo ThinKnx – Micro che rappresenta l'unità logica del sistema e permette il controllo di tutti i dispositivi ad esso connessi.

La componente client consiste nei PC, touch screen, tablet e smartphone, connessi alla rete LAN via cavo (Ethernet) o WiFi; questi dispositivi comunicano tramite il software ThinKnx con il server per controllare l'impianto.

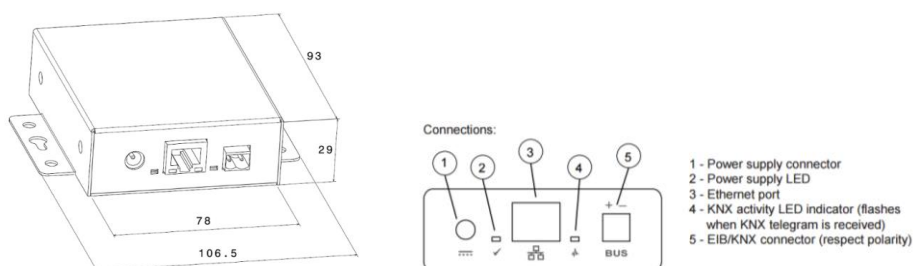
Il supervisore costituisce un arricchimento importante dell'impianto domotico della singola unità con i seguenti vantaggi:

- Possibilità di implementare funzioni complesse, logiche e temporizzazioni;
- Possibilità di gestire apparati Z-Wave come smart plug o altri dispositivi;
- Creazione di un'interfaccia uomo impianto per ogni unità;
- Integrazione con il sistema di metering.



**Figura 106. Supervisore Thinkknx della Pulsar Engineering ed esempio di rappresentazione grafica della supervisione di appartamento su dispositivi mobili**

Le dimensioni del supervisore sono contenute facilitando l'installazione.



**Figura 107. Dimensioni del supervisore Thinkknx Micro e connessioni disponibili (Pulsar Engineering).**

Il funzionamento del supervisore si basa su due software:

- il configuratore che deve essere allocato fisicamente nel supervisore
- il client che deve essere allocato nel dispositivo mobile di gestione

Il software configuratore per la realizzazione del sistema di supervisione è il Thinkknx Configurator. Il software si basa sul principio di associare ad un oggetto grafico attivo un indirizzo logico del sistema Knx programmato con ETS.

Il software client è il Thinkknx Player disponibile per tutti i sistemi operativi più diffusi (Windows, Mac, Ipad, Iphone, Android, ecc.).

### 6.11 Supervisore Konnex di edificio.

Sulla linea dorsale di edificio sarà collegato il supervisore centralizzato dove è allocato lo SCADA. Il supervisore sarà costituito da un server rack con elevata potenza di calcolo allocato nella sala controllo (control room) del piano terra.

### 6.12 Sistema di supervisione (SCADA). Supervisione degli impianti.

E' prevista la realizzazione di un sistema di gestione e supervisione (SCADA) di tutti gli impianti elettrici e termici.

Il sistema è previsto realizzato su piattaforma Movicon BA della Progea srl, o equivalente che integra in un'unica piattaforma tutti i sistemi di edificio.

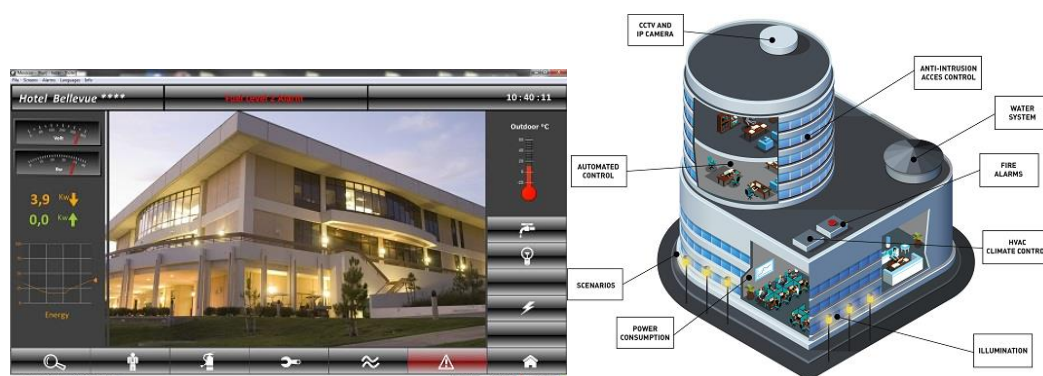


Figura 108. Esempi di rappresentazione grafica di supervisore di edificio.

Il sistema consente:

- il monitoraggio dei consumi energetici (elettrici e termici) suddiviso per ogni unità e su profili orari;
- la supervisione degli impianti elettrici e termici per la diagnostica e la manutenzione;
- la gestione dell'impianto centralizzato di riscaldamento/raffrescamento;
- la gestione degli impianti elettrici e di illuminazione delle aree comuni;
- la possibilità di gestione degli impianti locali di riscaldamento/raffrescamento;
- la possibilità di gestione degli impianti locali elettrici, potendo intervenire sul distacco o ritardo di alcuni carichi non prioritari (lavaggi);
- la predisposizione alla gestione di carichi importanti e comuni quali ad esempio ricariche di veicoli o servizi di lavanderia;
- la predisposizione alla gestione di sistemi di accumulo elettrico centralizzato e/o distribuito.
- la predisposizione alla gestione di sistemi di generazione di emergenza (gruppi elettrogeni ed UPS).

### 6.13 Building management systems (BMS). Controllo della domanda elettrica – Demand Side Management DSM

Trattandosi di un edificio completamente alimentato dal vettore elettrico è possibile incidere sulla domanda di energia e sull'impatto con la rete di distribuzione (demand side management) sia operando politiche di gestione dei carichi elettrici sia operando politiche di gestione dei carichi termici.

Si prevede di implementare le funzioni proposte nella presente ricerca direttamente sul software di supervisione descritto nel punto precedente.

### 6.14 Elettrodomestici smart

Per il controllo dei carichi elettrici delle singole unità è prevista la fornitura di elettrodomestici intelligenti.

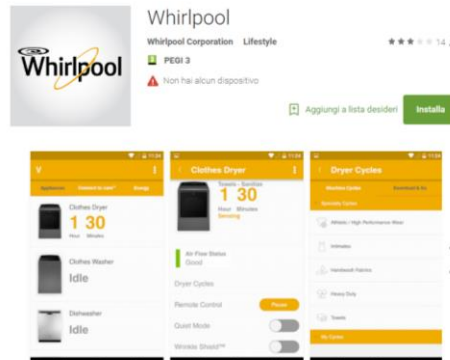
- Lavatrice
- Lavastoviglie
- Frigorifero



Gli elettrodomestici previsti risultano comunicanti attraverso la rete wifi di unità fino al router di unità. Dal router di unità comunicano fino al cloud centrale gestito direttamente dalla casa produttrice degli elettrodomestici. L'idea consiste nel mettere in comunicazione il cloud con il BEMS come descritto nello schema di Figura 110.

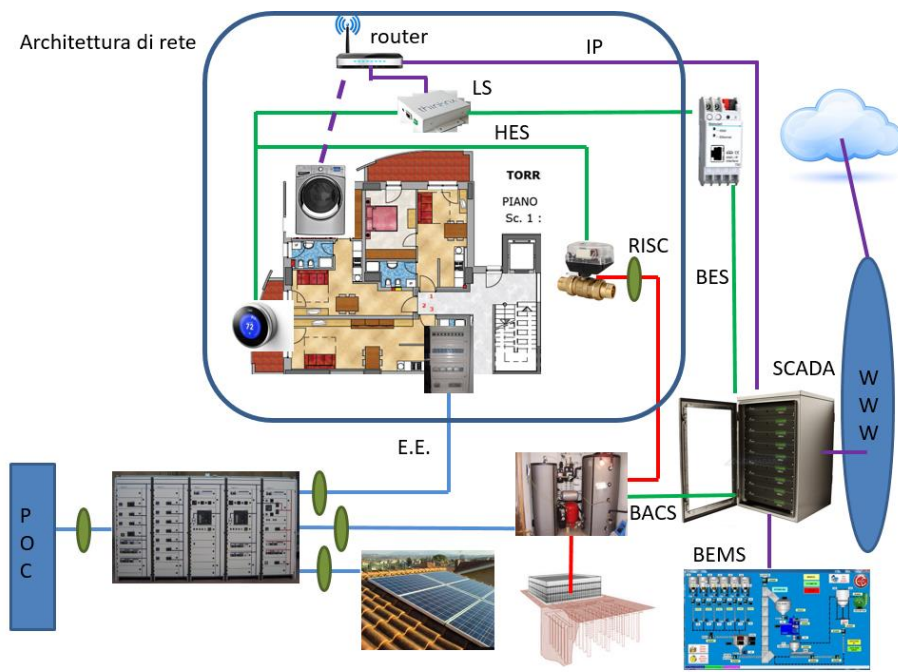
La comunicazione tra BEMS e elettrodomestico avviene quindi attraverso il cloud ed è bidirezionale. In questo modo si evitano gateway tra impianto domotico ed elettrodomestico che possono inficiare il corretto funzionamento delle macchine.

E' prevista una piattaforma APP di gestione dedicata da finalizzare insieme ai produttori delle APP attualmente disponibili per la gestione degli elettrodomestici (Figura 109).



**Figura 109. Esempio di appa di gestione di smart appliance**

Si prevede la possibilità di modello di business a gettoni, prevedendo una tariffa flat per i servizi energetici e gettoni spendibili per i cicli di lavaggio. I gettoni sono forniti in un certo numero al mese e sono accumulabili tramite utilizzo virtuoso della macchina (in fasce verdi).



**Figura 110. Architettura smart della micro grid a servizio della torre A.**

### 6.15 Predisposizione ad integrazione con sistemi di ricarica di veicoli leggeri e auto

La micro grid di servizio all'edificio è già predisposta ad un'integrazione ottimale con una rete elettrica per la ricarica di veicoli.

#### *6.16 Nuovi modelli gestionali “money less”*

Saranno studiati modelli gestionali che favoriscano l'utilizzo di carte invece del denaro con accumulo punti/gettoni.

## 7 Simulazioni

### 7.1 Simulazioni con carico libero

Il modello di simulazione del comportamento energetico descritto nel capitolo 5 è stato implementato ed applicato all'esempio di edificio descritto nel capitolo 6.

L'edificio simulato è la Torre A del complesso immobiliare "Le Torri" descritto nel capitolo 6. La torre A è costituita da 92 appartamenti. Nelle simulazioni sono state escluse le utenze riferite alla Torre B ed alla piastra comune con utenze commerciali.

È stato considerato il sistema di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria riferito alle sole 92 utenze residenziali della Torre A.

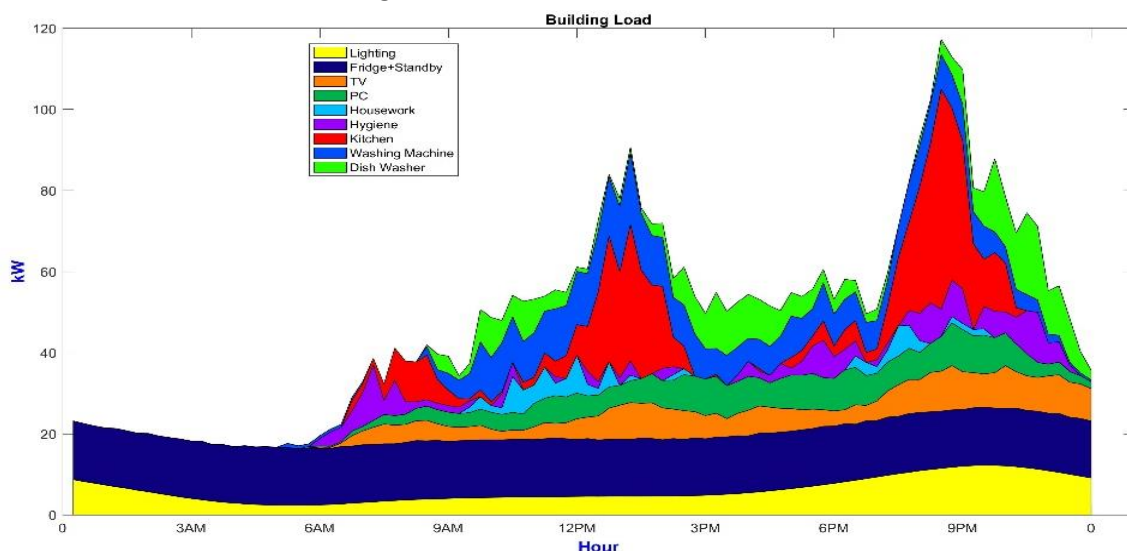
Ciascun appartamento è stato considerato dotato dei servizi rappresentati nella Tabella 37.

**Tabella 37. Carichi considerati per ciascun appartamento**

Servizio	Potenza media (W)	Durata ciclo	Energia giornaliera (kWh)
Illuminazione	50	-	0.7
Frigorifero e standby	70	-	1.5
TV	250	2h	0.7
PC	250	2h	0.7
Elettrodomestici	1300	15m/30m	0.2
Igiene	1500	15m/30m	0.6
Cucina	2300	15m/30m	1.5
Lavatrice	700	2h	1.4
Lavastoviglie	700	1h 30m	1

Attraverso il modello simulativo implementato nel software "Building Simulator" precedentemente descritto sono state effettuate alcune simulazioni, in diversi periodi dell'anno. Le simulazioni e le analisi dei dati permettono di verificare la bontà del controllo BEMS e dell'architettura proposta ed in particolare l'impatto dei controlli nella prestazione energetica dell'edificio attraverso la valutazione dei profili di carico e il calcolo di appositi indicatori prestazionali.

Nella Figura 111 è riportato l'esempio di un profilo di carico elettrico dell'edificio preso in considerazione, valutato mediante il software "Building Simulator".



**Figura 111. Profilo giornaliero di assorbimento elettrico**

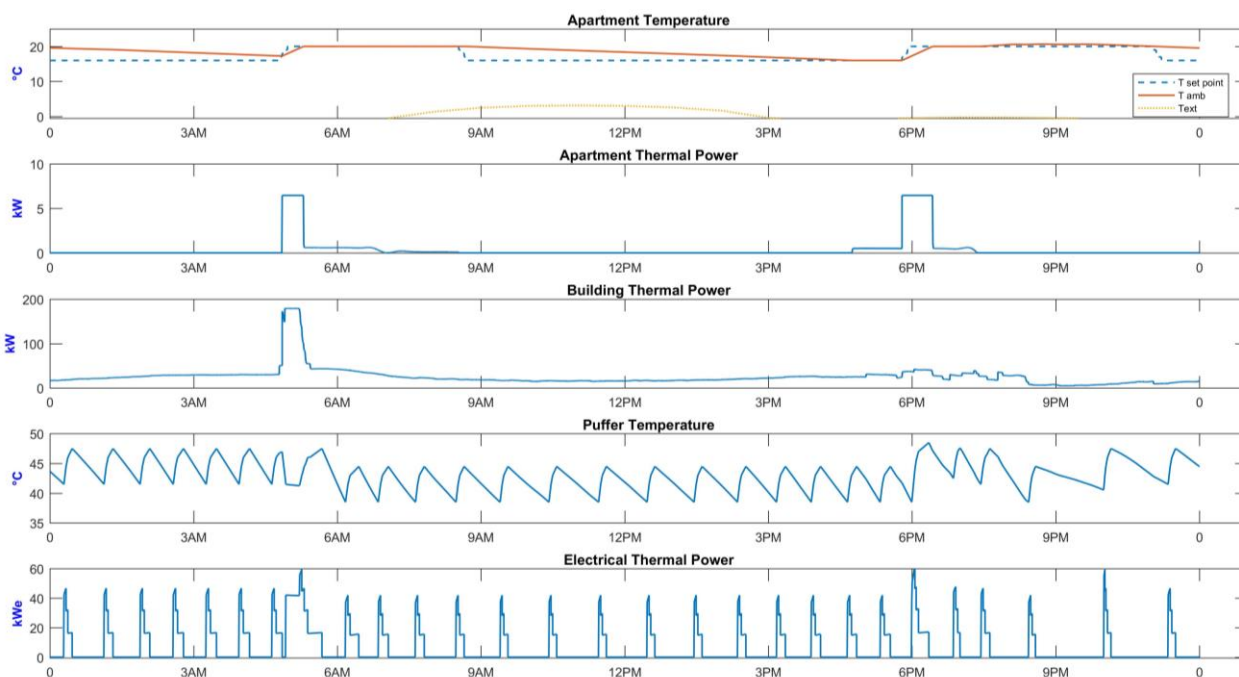
Nel modello di calcolo considerato, la generazione del calore per acqua calda sanitaria e riscaldamento è garantita da un sistema di due pompe di calore geotermiche del tipo Idrosistemi Idroearth HCS 120 di potenza termica pari a 86,5 kW, corrispondente a un massimo impegno di potenza elettrica da parte della centrale termica pari a circa 55 kW. L'assorbimento di potenza elettrica del sistema dipende dal COP delle macchine che a sua volta è influenzato dalle effettive condizioni di esercizio. Il modello tiene conto della variabilità del rapporto COP tra potenza termica resa e potenza elettrica assorbita secondo i parametri ricavati dai dati di targa della macchina.

L'accumulo per l'acqua calda sanitaria è costituito da 3 serbatoi Idrostar da 2000 litri ciascuno.

Il puffer per il sistema di riscaldamento è costituito da un serbatoio in acciaio isolato in poliuretano rigido iniettato tipo Puffer Speicher da 2000 litri.

La ventilazione dei locali degli appartamenti è realizzata attraverso un sistema di 7 colonne di estrazione. Ciascuna colonna è dotata di un estrattore di aria con portata 720 mc/h e prevalenza 230 Pa.

È possibile simulare anche l'andamento dei carichi termici di ogni singola unità abitativa tenendo in considerazione la presenza delle persone per la modalità economy del riscaldamento. Dai profili termici di ciascuna unità si ricava il profilo termico complessivo dell'edificio e dal modello del puffer e dalla pompa di calore il consumo elettrico della pompa di calore. Nella Figura 112 è riportato l'esempio di assorbimento di potenza per il riscaldamento invernale in una giornata di marzo.



**Figura 112. Comportamento termico dell'edificio in un dato giorno di gennaio. Dall'alto: temperatura interna di un appartamento, fabbisogno di potenza termica di un appartamento, fabbisogno di potenza termica dell'edificio, temperatura del puffer e potenza elettrica assorbita dalla pompa di calore.**

Si può notare come l'andamento della temperatura nell'appartamento varia tra le due temperature di setpoint in funzione della presenza persona durante la giornata. Per mantenere la temperatura di setpoint si attiva l'impianto di riscaldamento. La somma dei consumi termici di ciascuna unità determina il fabbisogno complessivo di edificio.

Dall'andamento dei grafici in figura è possibile notare come all'aumento del carico termico di edificio corrisponda una diminuzione della temperatura del puffer per via dell'erogazione di energia termica agli ambienti serviti. L'intervento della pompa di calore ed il conseguente consumo di potenza elettrica avviene per effetto della diminuzione della temperatura nel puffer, per periodi più lunghi in presenza di maggiore erogazione di calore all'impianto di riscaldamento. Si sottolinea, inoltre, come nei periodi di richiesta

termica nulla il sistema possa sfruttare l'inerzia termica del puffer per gestire la pompa di calore con le modalità di funzionamento illustrate nel 5.2.7.

E' importante notare che dai diagrammi si osserva come la potenza termica richiesta dal singolo appartamento sia estremamente ridotta e limitata ai periodi di transizione dalla temperatura di set-point ridotta al valore di comfort. Ciò è dovuto al ridotto coefficiente di accoppiamento termico zona-ambiente, pari ad appena 44.7 W/K. Infatti, una modesta trasmissione di calore verso l'esterno, unitamente ad una significativa capacità termica dell'ambiente determina un tempo di scarica termica molto prolungato. D'altra parte, questo comporta un ridotto fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e conseguentemente un ridotto fabbisogno di energia elettrica per l'azionamento della pompa di calore. Tale caratteristica è propria degli edifici NZEB.

## 7.2 Simulazioni con demand side management

È stato valutato l'impatto delle 4 strategie di controllo proposto, per la tipologia di edificio considerata attraverso alcuni indicatori prestazionali suggeriti:

- $\Delta Pa$  : variazione della potenza media giornaliera rispetto al profilo non controllato;
- $\Delta Pp$  : variazione della potenza di picco (su intervalli di 15 minuti) rispetto al profilo non controllato;
- $Pa/Pp$ : rapporto tra potenza media e potenza di picco;
- $\Delta E_G$ : variazione dello scambio di energia con la rete rispetto al profilo non controllato;
- EH : ore equivalenti, pari al rapporto tra l'energia giornaliera assorbita dalla rete e la potenza di picco;
- SCR: quota di autoconsumo, pari al rapporto tra l'energia giornaliera autoconsumata e l'energia generata;
- $E_s\%$ : massimo valore di energia differibile in un giorno.

Nelle simulazioni svolte, sono state ipotizzate tre scenari gestionali, con i parametri riportati nella Tabella 38.

**Tabella 38. Parametri di setpoint**

BEMS	Control strategies	$T_{Economy} - T_{Comfort}$	$T_{Boiler}$	Smart appliance
N	T3 (1 hour before)	16-20	45	By the users
Ad1	T1 e T2	16-20	40-43	By the users
Ad2	T1, T2 e SA	16-20	40-43	By the BEMS with users approval
Ad3	T1, T2 e SA	16-20	40-43	By the BEMS

Nello scenario N si prevede la sola gestione del sistema termico attraverso le seguenti modalità:

- Gestione appartamento
  - Modalità economy in assenza persona
- Gestione edificio
  - Modalità economy notturna
  - Riscaldamento in seguito alla modalità economy notturna suddiviso in 2 fasi per ridurre il picco di potenza massima

Nello scenario Ad1 si prevede una gestione intelligente del sistema termico attraverso le seguenti modalità:

- Gestione appartamento
  - Modalità economy in assenza persona
- Gestione dell'edificio
  - Temperatura ottima di funzionamento del puffer per i consumi previsti
  - Preriscaldamento degli ambienti in seguito alla modalità economy per ridurre i picchi di potenza e evitare la sovrapposizione con i periodi di picco del consumo complessivo di edificio

- Gestione dinamica della temperatura di funzionamento del puffer per disaccoppiare le richieste termiche e il consumo della pompa di calore nei periodi di picco

Nello scenario Ad2, oltre alla gestione intelligente del sistema termico, si aggiunge il controllo dell'attivazione dei lavaggi attraverso l'interazione utente BEMS secondo le modalità descritte nel paragrafo 5.4.5.

Nello scenario Ad3 l'attivazione dei lavaggi è interamente gestita dal BEMS per massimizzare i risultati del controllo.

### 7.3 Risultati delle simulazioni per una giornata di marzo

La Figura 113, la Figura 114, la Figura 115 e la Figura 116 riportano il profilo di assorbimento elettrico dell'edificio, in un giorno di marzo, adottando rispettivamente lo scenario N, Ad1, Ad2 e Ad3.

La Tabella 39 riporta i risultati ottenuti.

Dall'analisi dei grafici e dei dati è possibile notare come, attraverso le differenti tecniche di controllo, è possibile raggiungere risultati considerevoli in termini di ottimizzazione tecnica ed economica.

Il controllo del sistema termico, infatti, è volto principalmente alla riduzione del picco di potenza attraverso l'ottimizzazione dinamica dei parametri sistema e alle attivazioni intelligenti, mentre attraverso il controllo delle Smart Appliances e le tecniche del Demand Side Management si persegue il conseguimento degli obiettivi tecnici prefissati, in particolare l'incremento dell'autoconsumo della produzione locale da fotovoltaico e la riduzione dei picchi di potenza.

La Tabella 39 mostra come l'energia giornaliera consumata sia sostanzialmente invariata passando dallo scenario N allo scenario Ad3, poichè si ha uno spostamento temporale dell'energia e non un effettivo risparmio.

Le piccole variazioni energetiche riportate nelle tabelle delle simulazioni tra gli scenari Ad1, Ad2 e Ad3 sono dovute alle attivazioni dei lavaggi posticipate al giorno successivo.

Nello scenario Ad2 si è simulata una situazione realistica di Demand Side Management in cui alcuni utenti preferiscono comunque attivare i lavaggi durante le ore di picco rinunciando agli incentivi proposti, mentre nello scenario Ad3 si è simulata una situazione di totale controllo delle Smart Appliances per mostrare i risultati massimi raggiungibili attraverso il controllo dei lavaggi.

Dai risultati ottenuti si può notare come attraverso le differenti tecniche di controllo si raggiungano ottimizzazioni tecniche ed economiche importanti:

- Diminuzione del picco di potenza
- Aumento delle ore equivalenti di utilizzo
- Incremento dell'autoconsumo fino ad esaurire completamente la quota di energia autoprodotta negli scenari Ad2 e Ad3
- Diminuzione di energia prelevata dalla rete
- Diminuzione dell'energia immessa in rete prodotta localmente
- Miglioramento complessivo del profilo di carico

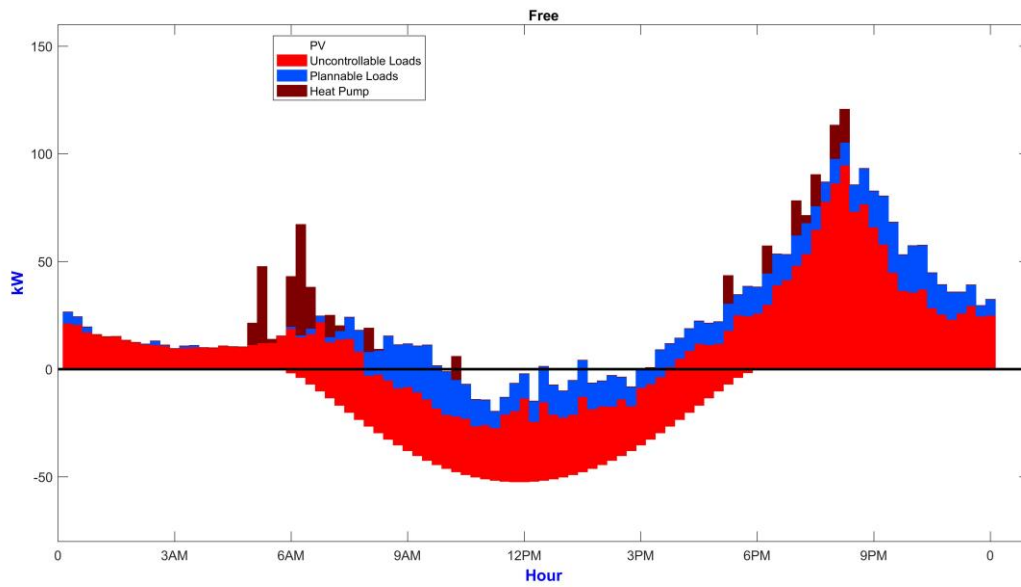


Figura 113. Profilo di carico caso N

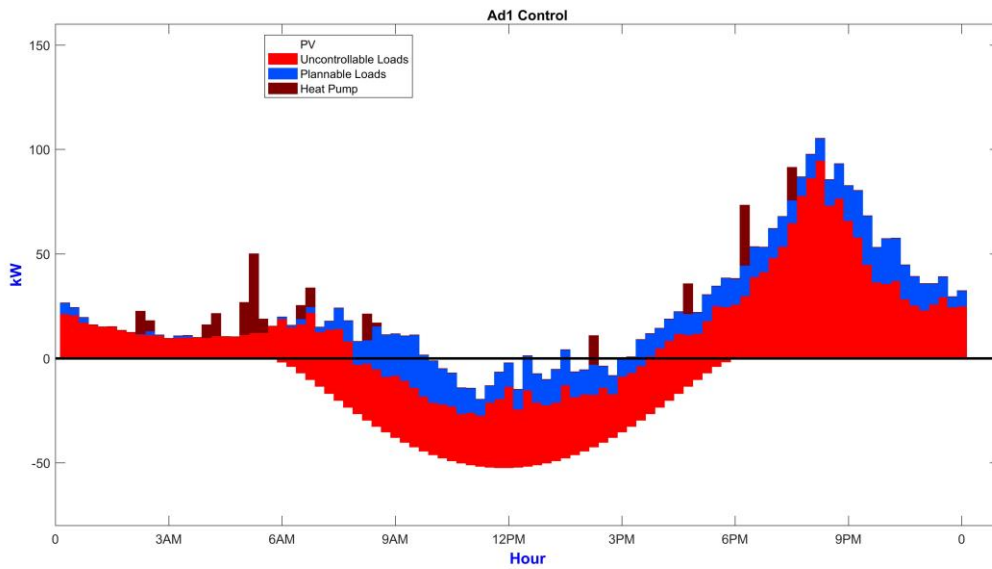


Figura 114. Profilo di carico caso Ad1

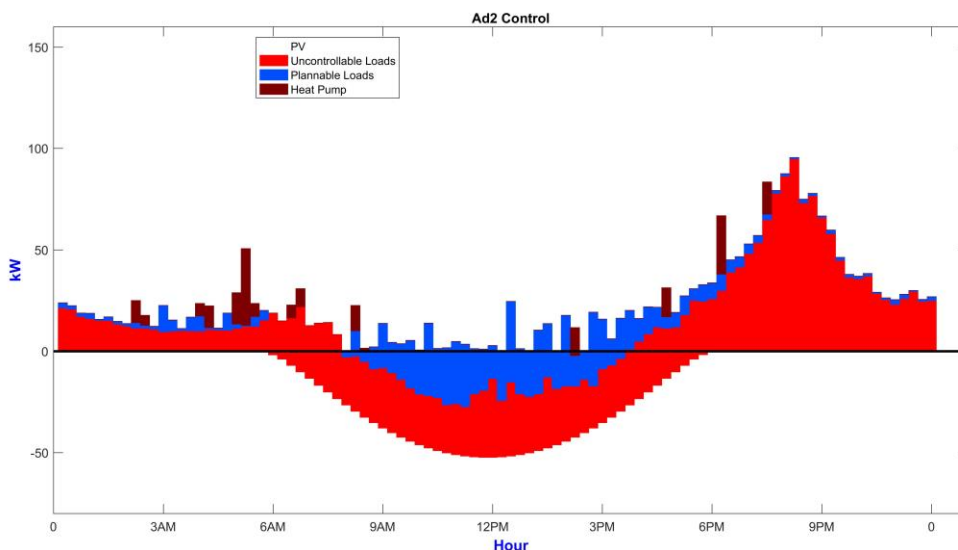


Figura 115. Profilo di carico caso Ad2

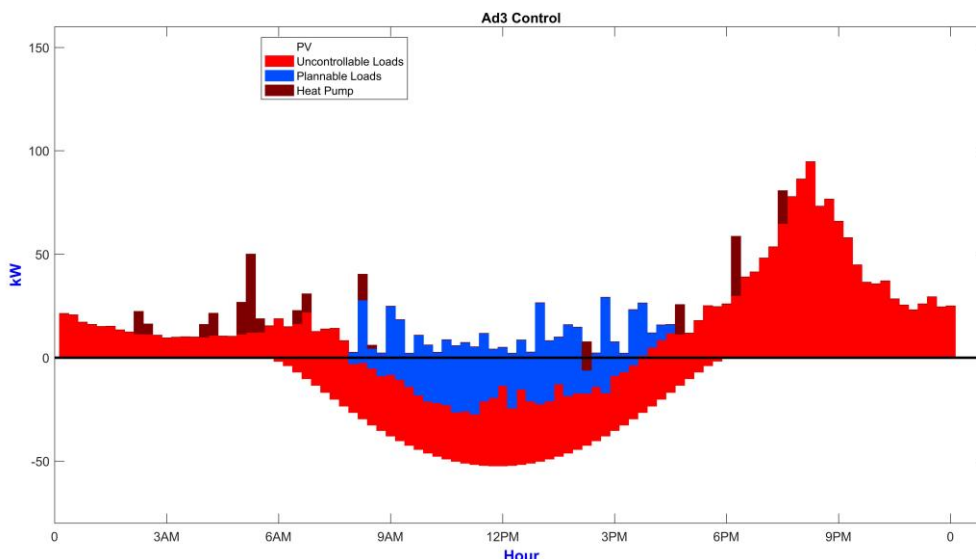


Figura 116. Profilo di carico caso Ad3

Dall’analisi delle figure Figura 113, Figura 114, Figura 115 e Figura 116 si evidenzia come il controllo dinamico della temperatura del puffer e il preriscaldamento degli ambienti hanno permesso di anticipare il consumo di energia elettrica assorbita dalla pompa di calore, evitando il picco serale delle ore 20 e riducendo quindi la potenza massima del 13%.

Il controllo del sistema termico opera aumentando la temperatura di accumulo del puffer in previsione del picco delle ore serali per poi abbassarla nei periodi di picco fungendo così da accumulo termico per l’energia.

Il puffer infatti erogherà energia alle unità abitative durante le ore serali, in cui aumentando sia le richieste di energia elettrica che termica, evitando la risposta immediata della pompa di calore e quindi un incremento della potenza elettrica assorbita dall’edificio, ma sfruttando il  $\Delta T$  delle diverse temperature del puffer nei 2 periodi e l’energia accumulata in precedenza.

Attraverso il controllo delle Smart Appliances si è raggiunta un’ulteriore riduzione del picco e la massimizzazione dell’autoconsumo con l’annullamento di energia prodotta localmente e immessa in rete e la conseguente riduzione del consumo di energia proveniente dalla rete.

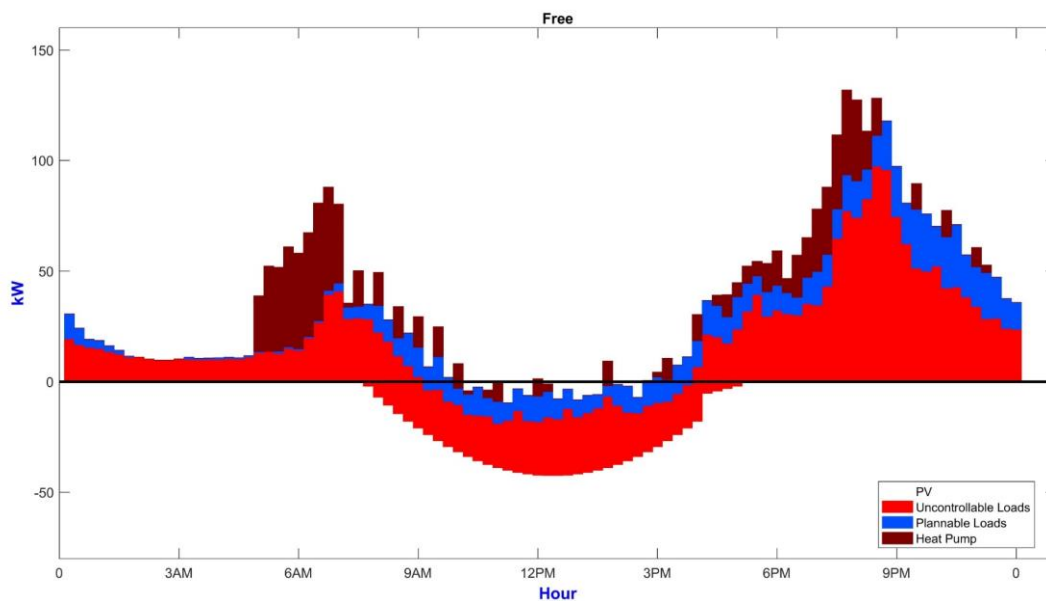


**Tabella 39. Risultati per un giorno di marzo**

BEMS		N	Ad1	Ad2	Ad3
Potenza di picco $P_p$	kW	120	105	95	95
$\Delta P_p$	p.u.	-	0.87	0.79	0.79
Potenza media $P_a$	kW	25	24.5	24.2	23.5
$\Delta P_a$	p.u.	-	0.97	0.96	0.93
$P_a/P_p$	p.u.	0.21	0.23	0.25	0.25
Energia consumata	kWh	998	980	975	970
Energia PDC	kWh	66	49	49	49
Energia dalla rete $E_g$	kWh	641	623	583	577
$\Delta E_g$	p.u.	-	0.97	0.9	0.9
$EH$	h	8.27	9.3	10.2	10
Energia autoconsumata	kWh	357	356	392	392
Energia immessa in rete	kWh	35	36	0.1	0
Energia autoconsumata	p.u.	0.91	0.91	0.99	1

#### 7.4 Risultati delle simulazioni per una giornata di gennaio

La Figura 117, la Figura 118, la Figura 119 e la Figura 120 riportano il profilo di assorbimento elettrico dell'edificio, in un giorno di gennaio, adottando rispettivamente lo scenario N, Ad1, Ad2 e Ad3. La Tabella 40 riporta i risultati ottenuti.



**Figura 117. Profilo di carico caso N**

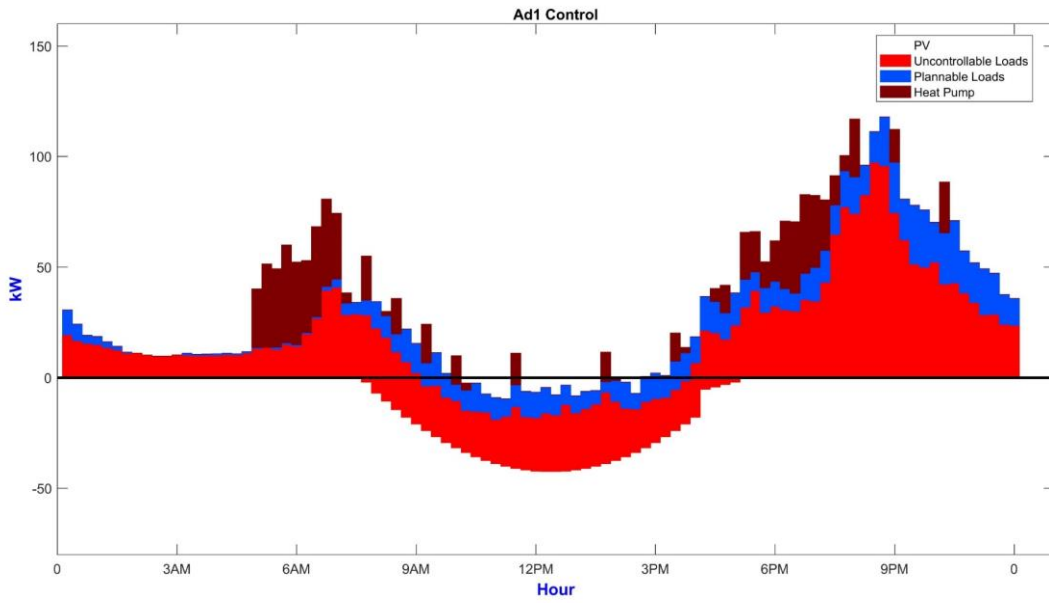


Figura 118. Profilo di carico caso Ad1

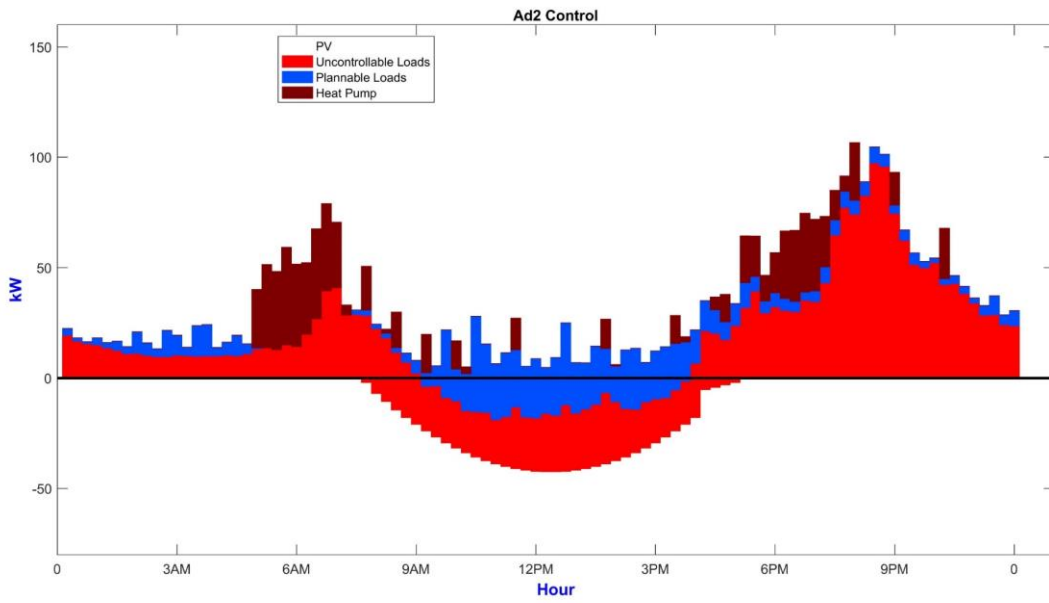


Figura 119. Profilo di carico caso Ad2

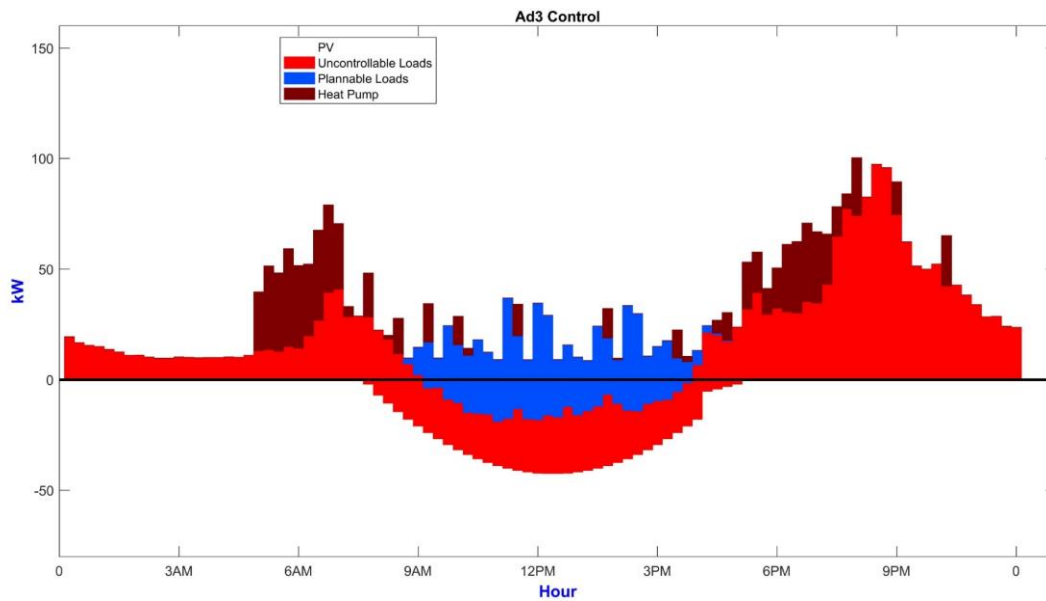


Figura 120. Profilo di carico caso Ad3

Tabella 40. Risultati per un giorno di gennaio

BEMS		N	Ad1	Ad2	Ad3
Potenza di picco $P_p$	kW	129	102	93	89
$\Delta P_p$	p.u.	-	0.79	0.72	0.68
Potenza media $P_a$	kW	36	35	36	34.4
$\Delta P_a$	p.u.	-	0.98	0.99	0.95
$P_a/P_p$	p.u.	0.28	0.35	0.39	0.39
Energia consumata	kWh	1132	1145	1132	1132
Energia PDC	kWh	207	189	189	189
Energia dalla rete $E_g$	kWh	872	854	869	869
$\Delta E_g$	p.u.	-	0.98	0.99	0.99
$EH$	h	8.76	10.9	12.2	12.4
Energia autoconsumata	kWh	261	260	264	264
Energia immessa in rete	kWh	2.9	3.5	0	0
Energia autoconsumata	p.u.	0.99	0.99	1	1

## 7.5 Conclusioni generali delle simulazioni

Dall'analisi dei risultati delle simulazioni si evince che attraverso le diverse strategie di controllo è possibile differire diverse quantità di energia con l'obiettivo di ridurre il picco di potenza in modo anche significativo. È possibile ridurre la potenza massima del profilo elettrico fino al valore del 40% gestendo fino al 30% dell'energia giornaliera complessiva dell'edificio attraverso i controlli del sistema termico e delle Smart Appliances precedentemente illustrati.

L'obiettivo dei controlli proposti non è la riduzione del fabbisogno energetico bensì la rimodulazione del profilo orario al fine di sfruttare al massimo l'energia locale da fotovoltaico e appiattire il profilo residuo di richiesta elettrica.

I risultati complessivi di impatto delle strategie di controllo sono riportati nella Tabella 41. I valori sono applicabili agli edifici con una potenza di fotovoltaico pari a circa 0,75 volte la potenza assorbita.

**Tabella 41. Impatto delle strategie di controllo T1, T2, T3 e SA sul comportamento energetico**

Controllo	$\Delta P_p$ %	$E_s$ %
T1	0-30	0-15
T2	0-30	0-5
T3	0-30	0-10
SA	0-10	0-15
T1+T2+T3+SA	0-40	0-30

La tabella mostra che attraverso i controlli proposti è possibile effettuare un efficace strategia di DSM finalizzata al controllo del profilo orario, con riduzione del picco di potenza fino al 40% e la possibilità di gestire/differire energia fino al 30% del valore giornaliero.

Si deve osservare anche che le strategie di gestione dell'impianto termico con preriscaldamento dell'impianto aumenta notevolmente il comfort degli utenti poiché consentono di portare gli ambienti alla temperatura desiderata prima dell'effettivo utilizzo degli ambienti e sfruttare quindi l'elevato isolamento.

Si deve osservare che, trattandosi di un edificio NZEB a ridotto fabbisogno di energia, l'energia richiesta per i servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria sono estremamente bassi rispetto ad edifici tradizionali.

Nel mese di gennaio il fabbisogno di energia per il funzionamento della pompa di calore è pari al 13.4% del consumo energetico giornaliero dell'edificio. Negli altri periodi dell'anno il fabbisogno di energia per il riscaldamento è ovviamente inferiore.

Il controllo dei carichi termici per la gestione del carico elettrico comporta un impercettibile incremento (dal 13,4% al 13.6%) del fabbisogno complessivo, per effetto dell'aumento della temperatura media. Ciononostante, la gestione del carico elettrico consente di aumentare l'autoconsumo dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, spostando i consumi nei periodi di produzione.

## 8 Conclusioni

La ricerca ha riguardato la modellazione e l'analisi di architetture impiantistiche innovative a servizio di edifici multi unità a prevalente destinazione abitativa (Multi Unit Residential Building MURB) costituiti dal palazzo/condominio con unità immobiliari (appartamenti, uffici e negozi) dislocate verticalmente su più piani, e con servizi comuni di connettività e parcheggi.

Lo studio propone un modello di micro grid elettrica capace di integrare impianti a fonti rinnovabili, e dotata di un sistema di building automation evoluto per l'implementazione di un sistema gestionale dell'intero edificio (Building Energy Management System BEMS) con logiche gestionali avanzate.

Gli standard richiesti per la classificazione NZEB sono raggiunti non solo attraverso la cura dell'involucro edilizio, ma anche mediante l'installazione di componenti e impianti ad alte prestazioni e l'integrazione di fonti di energia rinnovabili. La ricerca evidenzia come la presenza di sistemi di domotica e di building automation, mediante un sistema gestionale integrato BEMS, possa rendere più performante il comportamento energetico reale dell'edificio con vantaggi per i singoli utenti e per il distributore.

Del resto, il complesso di impianti tecnici presenti all'interno di un NZEB necessita a prescindere di un sistema di building automation (BACS) e di management integrato ad un sistema di metering distribuito (SMS) in un sistema generale di gestione e controllo energetico (building energy management systems BEMS), pertanto l'implementazione di logiche gestionali avanzate comportano un modesto aggravio di costi.

La qualifica di NZEB dal punto di vista legislativo/normativo si basa sul quantitativo annuale di energia primaria e non sul bilancio istantaneo di potenza. Risulta più appropriata quindi la definizione di edificio a energia "net zero" (zero al netto) in luogo di "nearly zero" (quasi zero). In un edificio con qualifica NZEB, il bilancio energetico annuale è pari a zero, tuttavia la potenza istantaneamente scambiata con la rete è, in generale, diversa da zero. Lo scambio di potenza utenti/rete può avvenire nei due sensi e ciò può generare importanti diseconomie per gli utenti e fenomeni caotici nella rete. Attualmente i modelli di rete elettrica per gli NZEB prevedendo schemi tradizionali con multiple consegne, appaiono inappropriati a implementare logiche di controllo della domanda e più in generale soluzioni gestionali evolute.

La ricerca propone un modello di rete elettrica innovativa capace di implementare un BEMS capace di minimizzare la domanda di energia dalla rete dell'intero edificio e di controllarla nelle punte, attraverso strategie di controllo del carico (demand side management DSM) applicate ai carichi controllabili e alle possibilità di accumulo di energia (energy storage) elettrico e termico.

Nella seconda parte della ricerca è descritto il modello di architettura di micro grid a servizio degli NZEB.

La soluzione consiste in una micro grid a servizio dell'edificio con alimentazione esclusivamente elettrica (gas free) di tutti i servizi tecnici sia comuni sia delle singole unità. La micro grid prevede un unico punto di allaccio con la rete di distribuzione elettrica (distributor system operator DSO) a livello di media tensione, una cabina di trasformazione ed una rete di distribuzione di proprietà dell'edificio. La rete alimenta sia i servizi elettrici (comuni di edificio e di singole unità) sia i servizi termici (riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e acqua calda sanitaria). Gli impianti di riscaldamento e di generazione dell'acqua calda sanitaria sono previsti di tipo centralizzato con pompa di calore geotermica, serbatoio di accumulo e rete di distribuzione comune fino a centri satellite di unità per lo stacco dei servizi locali di riscaldamento ed acqua calda sanitaria.

Per il sistema di distribuzione elettrica alle singole utenze si possono prevedere soluzioni non convenzionali di montanti con livelli di tensione speciali e/o uso di corrente continua. La presenza della cabina di trasformazione di proprietà aumenta il livello di sicurezza degli utenti poiché è possibile adottare il sistema di distribuzione TN ed impiegare un valore di tensione fase-terra ridotto.

La micro grid proposta è prevista completa di generazione locale da fonte fotovoltaica ed è predisposta all'installazione di sistemi di accumulo a batteria. La micro grid proposta consente l'adozione di una soluzione innovativa di accumulo di tipo distribuita.

La rete elettrica è prevista affiancata da un sistema Home and Building Electronic System HBES (definito dalla norma CEI 205-14 REF) con impiego dello standard aperto Konnex (KNX). Gli impianti della centrale termica sono affiancati da un sistema di Building Automation Control System BACS con impiego dello standard tipicamente impiegato per la gestione delle centrali termiche.

L'aspetto innovativo della soluzione è l'architettura che prevede un sistema indipendente per ogni singola unità (HES) e un sistema comune di edificio (BES) costituita da una dorsale backbone di allaccio di tutti i sistemi BES. Le unità residenziali sono previste cablate con sistema di home automation HES su BUS locale completo di supervisore locale (LS) comunicante in KNX e collegato ad un router (RT) a sua volta connesso alla rete dati (TCP-IP) e collegato attraverso accoppiatori alla dorsale di edificio BES. Il BEMS è allocato su un supervisore centralizzato con funzioni SCADA che integra i due sistemi HBES e BACS e il sistema di misura distribuita evoluto (smart metering SMS) e sul quale sono integrate tutte le funzioni di building energy management systems BEMS, compresa la contabilizzazione degli assorbimenti sulla base dei valori comunicati dal sistema SMS.

La ricerca condotta su un modello di edificio e su un case study, dimostra che avvalendosi di algoritmi di gestione ottimizzati è possibile raggiungere comportamenti virtuosi per un edificio, fino al raggiungimento di un comportamento "near zero power" (a potenza quasi zero) e quindi a un edificio "km zero energy building" (KZEB, a energia a chilometri zero). Per tale motivo la ricerca condotta si è basata su un modello di micro grid full electric (gas free) che si è dimostrata estremamente flessibile, con l'impiego di avanzati sistemi di building automation e l'utilizzo di smart appliance.

La ricerca propone logiche gestionali avanzate dell'impianto di riscaldamento e di acqua calda sanitaria, alimentati da pompa di calore elettrica, al fine di ottenere variazioni di potenza elettrica nel nodo di saldo dell'edificio, sfruttando l'inerzia termica degli impianti e il livello di sensibilità al comfort degli utenti. La presenza di un puffer di accumulo per la gestione del riscaldamento e dei boiler di accumulo per l'acqua calda sanitaria costituiscono sistemi di accumulo termico naturali che abbinati alla elevata resistenza termica dell'edificio ed alla notevole inerzia termica del sistema dei pannelli radianti, offrono notevoli margini di controllo dell'impianto a parità di comfort o ancora con impatti positivi sul comfort termoigrometrico. Inoltre l'elevata resistenza termica degli ambienti consente un ulteriore livello di gestione sui set point dei termostati locali.

Inoltre la ricerca propone un modello gestionale dei carichi elettrici differibili dei lavaggi (lavatrici e lavastoviglie) che operano nelle singole unità, previste di tipo comunicante.

Al fine di valutare l'impatto delle strategie di controllo proposte è stato sviluppato un modello di simulatore NZEB ex novo finalizzato ad evidenziare l'impatto quantitativo delle logiche gestionali proposte.

Le simulazioni sono state condotte su un edificio reale in corso di realizzazione, completamente elettrico, costituito da 92 appartamenti con un carico complessivo dell'ordine di 120 kW e dotato di un impianto fotovoltaico di 100 kW. L'edificio è dotato di una rete elettrica e di building automation come quella proposta, completa di sistema di smart metering per ogni unità che monitora acqua calda, calore, ed elettricità.

Nelle simulazioni svolte, sono state ipotizzate tre scenari gestionali, a diverso livello di avanzamento dei controlli.

I risultati evidenziano che con l'implementazione di tutti i controlli proposti è possibile ottenere una riduzione massima della punta giornaliera in potenza anche dell'ordine del 30-40%, gestendo un quantitativo di energia che può arrivare al 30% dell'energia consumata giornaliera.

L'approccio proposto consiste in una visione innovativa degli impianti tecnici a servizio degli edifici, visti come impianti centralizzati e gestiti in modo comune, con unico allaccio ed interfaccia con la rete di distribuzione. Tale approccio consente di implementare logiche gestionali avanzate che consentono importanti ottimizzazioni energetiche perché applicabili a un insieme significativo di utenze.

L'edificio può essere considerato un soggetto unico che interagisce con la rete di distribuzione elettrica, potenziando le sue prestazioni in termini di efficienza energetica e costo. In tale approccio, il DSM della domanda di energia elettrica può avere un grande impatto rispetto alla rete, specialmente tenendo in considerazione la presenza di carichi gestibili, come gli elettrodomestici (ad es. lavatrici) e i sistemi di condizionamento, che possono essere sfruttati come sistemi di accumulo di energia.

La ricerca ha evidenziato come sistemi di bulding energy management BEMS avanzati possono migliorare significativamente il comportamento energetico già virtuoso dell'edificio, in modo tale da promuovere la qualifica da NZEB a KZEB. I vantaggi sono di duplice natura :

- risparmio economico e maggiore confort per gli utenti
- profilo di carico controllato e minore impatto per il distributore.

L'impiego di soluzioni completamente elettriche ovvero prive di riscaldamento centralizzato a gas e di cogenerazione, rende l'edificio un edificio a emissioni zero o "zero emission building" (ZEB).

La micro grid proposta consentirebbe un importante sviluppo di soluzioni domotiche e di smart appliance.

## 9 Riferimenti bibliografici

- [1] Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica degli edifici
- [2] Legge 90/2013, Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63. Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale
- [3] UNI/TS 11300-1 Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- [4] UNI CEI EN ISO 50001, Sistemi di gestione dell'energia - Requisiti e linee guida per l'uso
- [5] UNI CEI EN 16247-1:2012 "Diagnosi energetiche - Parte 1: Requisiti generali".
- [6] UNI EN 15232 Efficienza Energetica: impatto dell'automazione sulle prestazioni energetiche degli edifici
- [7] UNI 13786 Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo
- [8] Norma CEI EN 50090 del CLC/CT 205;
- [9] Norme EN ISO 16484 del CEN/TC 247;
- [10] CEI 64-8/8.1 Efficienza energetica degli impianti elettrici
- [11] CEI 205-2 Guida ai sistemi BUS su doppino per l'automazione della casa e negli edifici, secondo le norme CEI EN 50090
- [12] CEI 205-14 Guida alla progettazione, installazione e collaudo degli impianti HBES
- [13] CEI 205-18 Guida all'impiego dei sistemi di automazione degli impianti tecnici negli edifici
- [14] Fascicule de documentation AFNOR X30-147«Energy Measurement plan – Design and implementation”
- [15] Ricerca di sistema RDS PAR2014 Strumenti per favorire la valutazione dei sistemi di building automation negli edifici residenziali e definizione di indici di efficienza anche in presenza di sistemi di generazione locale con accumulo
- [16] Ricerca di Sistema RDS PAR2013\_059, Analisi dei profili di carico di utenze elettrotermiche ed implementazione di nuove soluzioni gestionali che favoriscano la fornitura di nuovi servizi ancillari nelle reti termiche di teleriscaldamento e teleraffreddamento, ENEA
- [17] L. Martirano, “Domotica e building automation per l'efficienza energetica degli edifici”, Rivista AEIT, N.9, Settembre 2009.
- [18] Parise, G.; Martirano, L., "Impact of building automation, controls and building management on energy performance of lighting systems," Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference - Conference Record 2009 IEEE , vol., no., pp.1,5, 3-7 May 2009
- [19] Martirano, L.; Aliberti, M.; Massarella, F., "Metering of energy used for lighting: A practical indirect method," Electric Power and Energy Conference (EPEC), 2010 IEEE , vol., no., pp.1,8, 25-27 Aug. 2010;
- [20] Martirano, L., "A smart lighting control to save energy," Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2011 IEEE 6th International Conference on , vol.1, no., pp.132,138, 15-17 Sept. 2011;
- [21] Martirano, L., "Lighting systems to save energy in educational classrooms," Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on , vol., no., pp.1,5, 8-11 May 2011;
- [22] Martirano, L.; Parise, G.; Parise, L.; Manganelli, M., A Fuzzy-Based Building Automation Control System: Optimizing the Level of Energy Performance and Comfort in an Office Space by Taking Advantage of Building Automation Systems and Solar Energy, IEEE Industry Applications Magazine, 2016, Volume: 22, Issue: 2, DOI 10.1109/MIAS.2015.2459097
- [23] Brenna, M.; Falvo, M.C.; Foiadelli, F.; Martirano, L.; Poli, D., Sustainable Energy Microsystem (SEM): preliminary energy analysis, Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), Washington DC, USA, 16-20 Jan. 2012, 2012 IEEE PES



- [24] M. Brenna, M.C. Falvo, F. Foadelli, L. Martirano, F. Massaro, D. Poli, A. Vaccaro, Challenges in Energy Systems for the Smart-Cities of the Future, 2nd ENERGYCON Conference & Exhibition, 2012 (Future Energy Grids and Systems Symposium, Firenze, 9-12 Settembre 2012)
- [25] G. Parise, L. Martirano, L. Parise, M. Mitolo, Safety Evolution of Residential Microsystems, 2nd ENERGYCON Conference & Exhibition, 2012 (Future Energy Grids and Systems Symposium, Firenze, 9-12 Settembre 2012)
- [26] G. Parise, L. Martirano, L. Parise, Evoluted Architectures for Smart Micro Grids, 2013 IEEE IAS Annual Meeting, Orlando (USA), 6-11 October 2103
- [27] L. Martirano, S. Fornari, A. Di Giorgio, and F. Liberati, "A case study of a commercial/residential microgrid integrating cogeneration and electrical local users," in Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2013 12th International Conference on, 2013, pp. 363–368.
- [28] G. Parise, L. Martirano, L. Parise, Ecodesign of Ever Net-Load Microgrids, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 50 Issue 1, 2014
- [29] R. Lamedica, A. Capasso, A Bottom-Up approach to residential load modeling", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, n.2, Maggio 1994.
- [30] I. A. Sajjad, M. Manganelli, L. Martirano, R. Napoli, G. Chicco, G. Parise "Net Metering Benefits for Residential Buildings: A Case Study in Italy", Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2015 15th International Conference on, 2015
- [31] G. Gross, "Key issues and challenges in the deepening penetration of demand response resources", *Summer School on Smart Grid*, Salerno, July 2015.
- [32] M. Coppo, "Controllo coordinato e distribuito di reti elettriche di distribuzione attive"
- [33] G. Graditi, M.G. Ippolito, R. Lamedica, A. Piccolo, A. Ruvio, E. Santini, P. Siano, G. Zizzo, Innovative control logics for a rational utilization of electric loads and air-conditioning systems in a residential building, Energy and Buildings, Volume 102, 1 September 2015, Pages 1-17, ISSN 0378-7788
- [34] M.G. Ippolito, E. Riva Sanseverino, G. Zizzo, Impact of building automation control systems and technical building management systems on the energy performance class of residential buildings: An Italian case study, Energy and Buildings, Volume 69, February 2014, Pages 33-40, ISSN 0378-7788
- [35] Intisar A. Sajjad; Roberto Napoli; Gianfranco Chicco; Luigi Martirano, A conceptual framework for the business model of smart grids, 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)
- [36] J.L. Enos, Petroleum Progress and Profits: A History of Process Innovation, 1962, MIT Press, Cambridge, MA.
- [37] M. Brenna; M. C. Falvo; F. Foadelli; L. Martirano; D. Poli, From Virtual Power Plant (VPP) to Sustainable Energy Microsystem (SEM): An opportunity for buildings energy management, Industry Applications Society Annual Meeting, 2015 IEEE
- [38] Luigi Martirano; Roberto Marrocco; Francesco Liberati; Alessandro Di Giorgio, KNX protocol compliant load shifting and storage control in residential buildings, Industry Applications Society Annual Meeting, 2015 IEEE
- [39] Edwin Xavier Domínguez; Pablo Arboleya; Felix Manuel Lorenzo, Computer tool for assessing the selection of distributed generation systems in NZEB, 2015 IEEE-EEEIC
- [40] Oscar Hernandez Uribe; Matilde Santos; Maria C. Garcia-Alegre; Domingo Guinea , A context-awareness architecture for managing thermal energy in an nZEB building, 2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)
- [41] Tarek Samarji; Adnan Jouni; Ali Karaki, Net zero energy buildings: Application in Lebanon on a typical residential building, 2012 International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC)
- [42] L. Martirano; G. Parise; M. C. Falvo; U. Grasselli; A. Di Giorgio, On the integration of small scale storage at home: Electrical and control design, 2015 IEEE/IAS 51st Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)
- [43] E. Currà; E. Habib, Riqualificazione energetica dell'architettura residenziale bellica in Italia, Colloqui.AT.e 2016, Convegno Ar.Tec - Matera