



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Analisi Teorico-Sperimentale Di Impianti In Isola Con Distribuzione In
Corrente Continua

Relatore	CH.MO PROF. MICHELE DE CARLI
Correlatore	DIEGO DE FECONDO

RICCARDO RUGGERO 1040343

Anno Accademico 2013/2014

Sommario	
Capitolo 1 - INTRODUZIONE	3
Capitolo 2 - ASPETTI INNOVATIVI DEGLI EDIFICI A BASSO CONSUMO	5
2.1 Distribuzione in corrente continua	5
2.2 Impianti a tutta aria	11
2.2.1 L'unità di trattamento aria	13
2.2.2 Impianti a canale singolo	15
2.2.3 Impianti con post-riscaldamento di zona	16
2.2.4 Impianti multizona	16
2.2.5 Impianti a doppio canale	17
2.2.6 Impianti a portata variabile	18
2.3 La casa passiva	19
Capitolo 3 - UN CASO DI STUDIO	24
3.1 Il software Trnsys	24
3.2 Il modello in Trnbuild	27
3.2.1 L'edificio	27
3.2.2 I carichi interni	37
3.3 La simulazione dinamica	41
3.3.1 Le Type utilizzate nella simulazione	41
3.3.2 Configurazione delle Type	42
3.4 Elaborazione dei dati	47
3.4.1 Fabbisogni termici	47
3.4.2 Portate di progetto	47
3.4.3 La pompa di calore	50
3.4.4 Altri carichi	51
3.4.5 Impianto fotovoltaico	52
Capitolo 4 - RISULTATI	55

4.1 Fabbisogni termici	55
4.2 Fabbisogni elettrici	61
4.3 Fabbisogni di energia primaria	67
Capitolo 5 - CONCLUSIONI	88
BIBLIOGRAFIA	91

Capitolo 1

INTRODUZIONE

Il ventunesimo secolo vede fra le maggiori problematiche i cambiamenti climatici, il fabbisogno energetico mondiale, l'esaurimento dei combustibili fossili, l'inquinamento; temi attuali che sono al centro di dibattiti internazionali e che condizionano le scelte economiche, politiche e sociali dei governi di tutto il mondo. In particolare la necessità di ridurre le emissioni dei "gas serra" e l'aumento incontrollato del prezzo del petrolio e dei carburanti fossili stanno spingendo governi e privati alla ricerca e alla sperimentazione di fonti energetiche alternative rinnovabili, a basso costo e a minor impatto ambientale.

Parallelamente alla ricerca nel campo della generazione di energia, vi sono studi che mirano allo sviluppo di nuove tecnologie ad alta efficienza e alla riduzione dei fabbisogni energetici in tutti i campi.

Questo trend si nota nel settore dell'edilizia residenziale. Da una parte vi è un'attenzione sempre maggiore alla produzione di energia attraverso fonti rinnovabili come pannelli fotovoltaici, micro-turbine eoliche e celle a combustibile a idrogeno, sia mediante grandi centrali localizzate, sia mediante la generazione distribuita, direttamente in loco, con impianti di piccola taglia. La necessità di utilizzare energia pulita ha portato allo sviluppo di una nuova concezione della generazione e della distribuzione di energia: produrre l'energia direttamente lì dove serve, con impianti per singolo edificio, oppure con le micro-grid, sottosistemi di distribuzione che servono piccole aree urbane.

Dall'altro lato si cerca di ridurre sempre di più i fabbisogni energetici delle abitazioni mediante l'utilizzo di tecniche costruttive avanzate e l'utilizzo di elettrodomestici ad alta efficienza.

Il risparmio energetico riguarda vari aspetti dell'edificio: l'impianto elettrico, la climatizzazione e le caratteristiche dell'involucro.

Per quanto riguarda l'impianto elettrico, negli ultimi anni si è iniziata a studiare la convenienze di una distribuzione in corrente continua o ibrida, rispetto alla tradizionale distribuzione in corrente alternata. Questo è dovuto alla diffusione degli impianti di generazione mediante fonti rinnovabili. Questi, infatti, forniscono corrente continua e la sua immissione in una rete in corrente alternata comporta perdite di conversione. Ulteriori perdite si hanno nella successiva conversione nelle apparecchiature elettroniche o negli elettrodomestici guidati da motori brushless. La possibilità di eliminare tutte queste perdite ha quindi portato allo sviluppo di una rete operante direttamente in corrente continua.

Ulteriore attenzione è stata data anche verso la climatizzazione residenziale, soprattutto verso gli impianti a tutta aria. Questi impianti, infatti, garantiscono un'ottima efficienza e la possibilità di utilizzare una pompa di calore e di trasformare tutti i carichi termici in carichi elettrici si accompagna perfettamente all'utilizzo di fonti rinnovabili, eliminando l'impatto inquinante delle tradizionali caldaie.

Tuttavia gli sforzi per arrivare ad avere edifici con un impianto di climatizzazione performante sarebbero vanificati se non si ponesse attenzione anche alle caratteristiche costruttive.

L'obiettivo, in questo caso, è quello di raggiungere un bilancio energetico nullo, o quasi nullo, per il quale è l'edificio stesso ad equilibrare le perdite e i guadagni di calore. Questo risultato si ottiene spingendo al massimo il grado di isolamento delle componenti di involucro opache e trasparenti ed adottando sistemi ad alta efficienza energetica.

In questo lavoro si fornisce una panoramica delle tecnologie ad alta efficienza per il settore residenziale e si illustrano i risultati di un caso di studio su un edificio reale.

Capitolo 2

ASPETTI INNOVATIVI DEGLI EDIFICI A BASSO CONSUMO

Nel presente capitolo si illustrano alcune tecnologie utilizzate nella costruzione di edifici a basso consumo. Vengono trattati in generale gli aspetti riguardanti la rete di distribuzione della corrente elettrica, gli impianti di climatizzazione e gli aspetti costruttivi.

2.1 Distribuzione in corrente continua

Il confronto fra corrente continua e corrente alternata risale agli ultimi decenni del 19° secolo, durante la cosiddetta guerra delle correnti. La fine di questo secolo vide un progressivo aumento della richiesta di energia elettrica in sostituzione all'energia meccanica derivante dai motori a vapore. Le prime centrali elettriche si basavano sul modello della prima centrale che Edison fondò nel 1882 a New York. La domanda di elettricità condusse al desiderio di costruire centrali sempre più grandi e si iniziò a porsi il problema del trasporto su grandi distanze. Inoltre la diffusione di motori elettrici industriali portò alla richiesta di una tensione di esercizio diversa dai 110 V.

Il sistema di Edison, infatti, forniva corrente continua a 110 V, cosa che risultava molto svantaggiosa dal punto di vista del trasporto, a causa delle elevate perdite.

Nel 1886 Westinghouse fondò la Westinghouse Electric e basandosi sulle scoperte e le invenzioni di Tesla contribuì alla diffusione dell'utilizzo della corrente alternata come forma adatta al trasporto.

La corrente alternata rimase uno standard fino ad oggi, a causa della tendenza ad avere una generazione centralizzata di energia elettrica, prodotta da grandi centrali a carbone, a gas o nucleari.

Tuttavia gli ultimi decenni hanno visto un cambiamento di tendenza. La maggior attenzione alla questione energetica e al problema ambientale ha portato allo sviluppo e alla diffusione delle tecnologie per le energie rinnovabili come fotovoltaico, eolico e idrogeno.

Al contrario delle tradizionali centrali di produzione di energia elettrica, per le fonti rinnovabili non è molto conveniente avere grosse centrali che servono grandi aree, come ad esempio i grandi campi eolici o fotovoltaici.

Il trend attuale infatti è quello di spingere verso la produzione distribuita di energia, mediante la creazione delle cosiddette micro-grid, sistemi locali di carichi e sorgenti di energia che operano come una singola entità controllabile con lo scopo di fornire energia elettrica e calore all'area.

I più diffusi sistemi di generazione di energia rinnovabile, tuttavia, forniscono come output corrente elettrica continua e a bassa tensione, quindi per poter essere immessa in rete deve essere convertita in alternata. Dall'altra parte però si ha una generazione localizzata nei singoli edifici, quindi l'energia elettrica è immessa nella rete domestica direttamente senza passare per la rete nazionale, rete domestica che, come da standard, opera in 220 V AC. Questo impone di convertire la corrente proveniente dai pannelli fotovoltaici o dalle micro turbine eoliche, con le relative perdite di conversione.

Inoltre c'è anche un altro fatto da considerare. Molti elettrodomestici operano internamente in corrente continua, si pensi a tutte le apparecchiature elettroniche, alle luci fluorescenti o LED, alle macchine guidate da motori brushless.

Quindi attualmente si ha una doppia conversione di energia elettrica, da fonte rinnovabile a rete domestica e da rete domestica al singolo apparecchio.

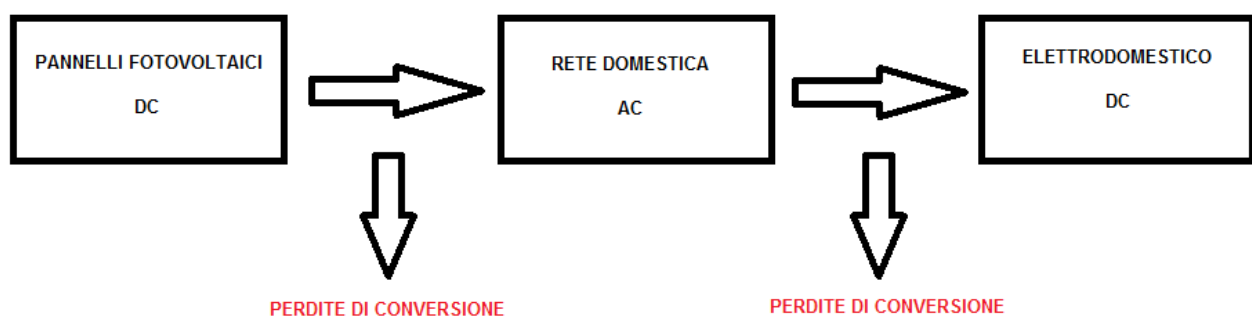


Figura 2.1.1 Perdite di conversione DC-AC-DC

Queste perdite di conversione possono essere evitate creando una rete domestica operante in corrente continua ad un certo livello di tensione, utilizzando dei convertitori di tensione DC/DC per far operare le apparecchiature alla propria tensione di utilizzo.

L'idea di creare reti in corrente continua è già stata messa in pratica nel caso di edifici ad uso commerciale, in particolare per i sistemi di illuminazione. Il caso residenziale ha ricevuto invece scarsa attenzione ed è molto differente da quello commerciale, soprattutto per quanto riguarda la coincidenza dei carichi e della generazione di energia mediante pannelli fotovoltaici.

La maggior parte degli studi è stata analitica, più che sperimentale. Savage et al. hanno stimato che la sostituzione dei convertitori AC/DC degli elettrodomestici con un rettificatore centralizzato a maggior efficienza porterebbe a risparmi del 25%. Hammestrom ha calcolato che un edificio avente una fonte di energia in corrente continua ed una distribuzione direttamente in DC risparmierebbe il 3% di energia rispetto allo stesso edificio operante con una rete in corrente alternata.

Secondo Thomas et al. un sistema LED operante direttamente in DC da pannelli fotovoltaici porterebbe a un risparmio del 5% del costo annuo rispetto ad uno operante in AC. Sannino et al. hanno comparato le perdite di un sistema di distribuzione in corrente continua di un edificio residenziale, operante a diversi livelli di tensione da 48 V a 326 V, rispetto ad un sistema AC operante a 230 V ed hanno realizzato che il sistema a 326 V è quello che comporta più vantaggi dal punto di vista tecnico ed economico.

Uno studio condotto da Vossos et al. ha confrontato i consumi elettrici di una casa con distribuzione in corrente continua rispetto ad una con distribuzione in corrente alternata, considerando anche la presenza di uno stoccaggio di energia mediante batterie.

Lo studio ha considerato 14 diverse città degli Stati Uniti, prendendo i profili dei totali dei carichi elettrici e i profili dell'energia prodotta dai pannelli solare nelle varie posizioni geografiche.

Dai profili di carico totali hanno distinto tra cooling loads e non-cooling loads, semplicemente sottraendo dal totale i carichi elettrici.

Il modello di Vossos et al. compara le perdite di conversione in un edificio con distribuzione AC ed uno con distribuzione DC. L'edificio in DC elimina le perdite dovute alla conversione DC-AC-DC, ma vede le perdite dovute alla conversione AC-DC nell'inverter bidirezionale quando è necessario prelevare energia da rete.

La casa con distribuzione AC fornisce direttamente corrente alternata alle applicazioni che ne necessitano, mentre per le applicazioni operanti in continua è previsto un convertitore AC-DC.

Un'ulteriore suddivisione dei carichi riguarda i carichi elettrici operanti ad alta tensione (380 V) ed operanti a bassa tensione (24 V).

In entrambi gli scenari di simulazione è stato inserito un sistema di stoccaggio, controllato da un regolatore di carica MPPT per ottimizzare la resa dei pannelli solari. Il sistema di stoccaggio è caricato solo dall'energia in eccesso e non da quella proveniente da rete.

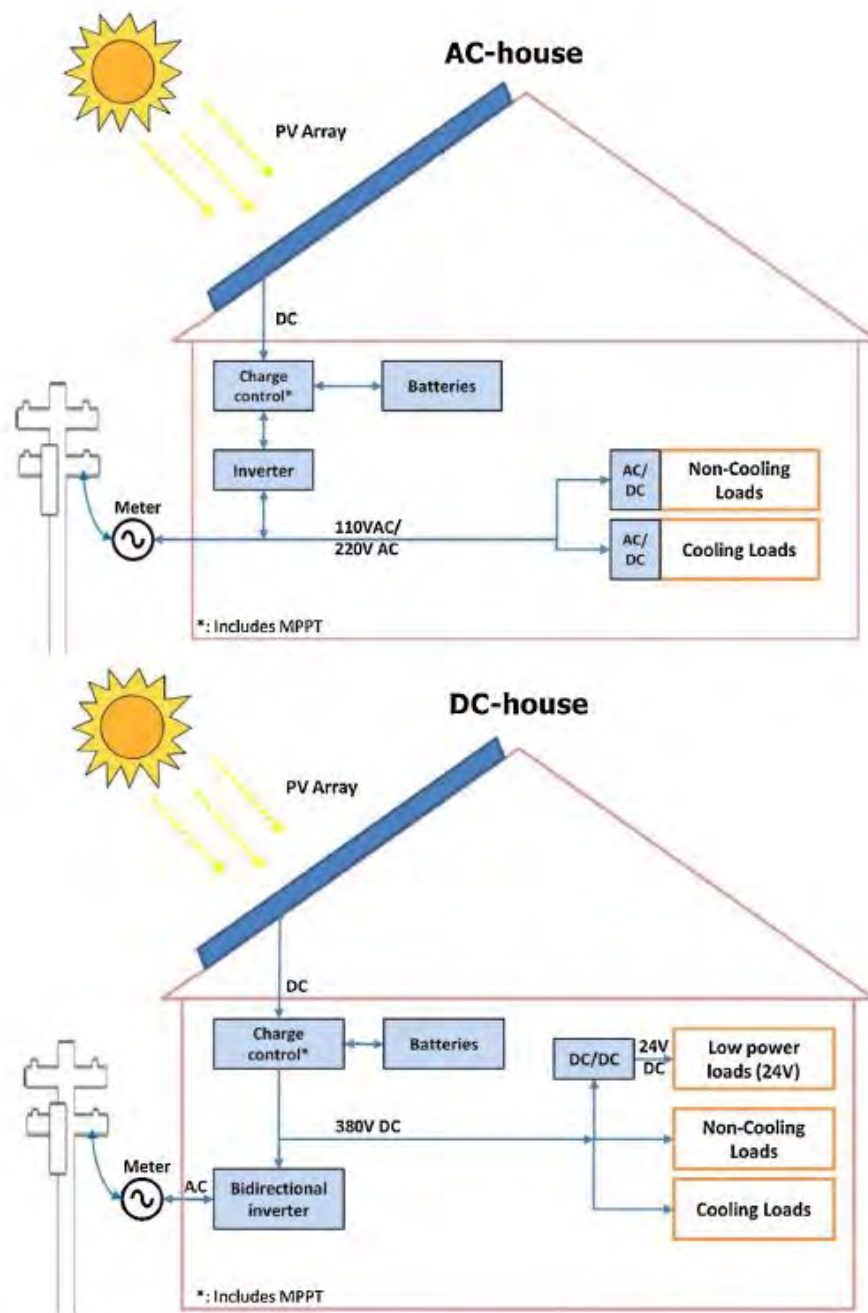


Figura 2.1.2 Vossos, Garbesi, Shen, *Energy savings from direct-DC in U.S. residential buildings*, in <www.sciencedirect.com>.

Il modello traccia le perdite di efficienza nei sistemi di conversione di potenza e negli elettrodomestici con convertitore AC-DC. Calcola inoltre l'impatto dell'elettricità netta al contatore durante l'intervallo di un anno.

I risultati ottenuti mostrano che l'utilizzo di un impianto di distribuzione in corrente continua porta ad avere un risparmio medio per le città analizzate del 7% nel caso di sistema senza stoccaggio e del 13% per il sistema con batterie, rispetto alla distribuzione in corrente alternata.

Un innovativo sistema di distribuzione che si sposa perfettamente con la corrente continua è stato sviluppato dalla Next s.r.l.

Il nastro Next è un sistema creato per sostituire il tradizionale impianto elettrico costituito dai classici cavi elettrici a sezione circolare. Il nastro è formato da un conduttore a sezione rettangolare, dello spessore di 0,25 mm, che, a parità di sezione rispetto ad uno circolare, presenta un perimetro maggiore, fornendo quindi una maggiore superficie disperdente per lo scambio termico del calore generato dall'effetto Joule. In questo modo è possibile ridurre la temperatura superficiale del conduttore e con essa la resistività elettrica, permettendo di avere una densità di corrente più elevata. Il conduttore è inserito fra due membrane isolanti che garantiscono un isolamento fino a 4000 V.

Il nastro è stato ideato, in principio, per funzionare in un impianto in corrente continua. Il motivo di questa scelta è legato alla possibilità di installare luci LED per l'impianto di illuminazione, direttamente sul nastro. Le luci LED garantiscono efficienze luminose estremamente elevate, rispetto alle tradizionali lampadine ad incandescenza: circa 15-20 lm/W per le classiche lampadine, tra 100-120 e anche oltre per i LED.

Tuttavia le attuali lampade hanno incorporato un trasformatore per la conversione AC/DC, che, oltre a costituire la principale causa di guasto che inficia la vita della lampada, causa perdite energetiche dovute alla conversione di corrente. Il nastro evita questi inconvenienti, fornendo direttamente alla lampada LED corrente continua alla propria tensione di alimentazione (24-48 V).

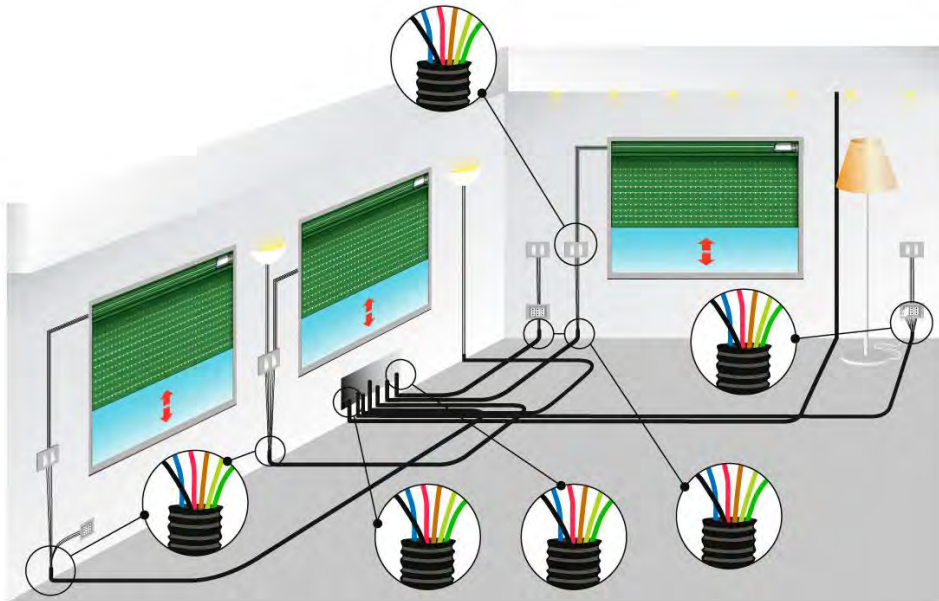
L'impianto in corrente continua, tuttavia, non fornisce vantaggi solo per quanto riguarda gli utilizzatori finali, ma anche per quanto riguarda l'autoproduzione di energia, nella fattispecie mediante pannelli fotovoltaici. Essi, infatti, generano corrente continua, che, negli impianti tradizionali, deve essere convertita in alternata per essere immessa nella rete domestica e poi nuovamente riconvertita a continua nelle apparecchiature. La possibilità, quindi, di immettere la corrente prodotta dai pannelli direttamente in una rete in corrente continua, eliminerebbe le perdite dovute alla doppia conversione.

E' chiaro, quindi, come il nastro Next si sposi perfettamente con la necessità di produrre energia mediante fonti rinnovabili, riducendo la quota di energia prelevata dalla rete nazionale.

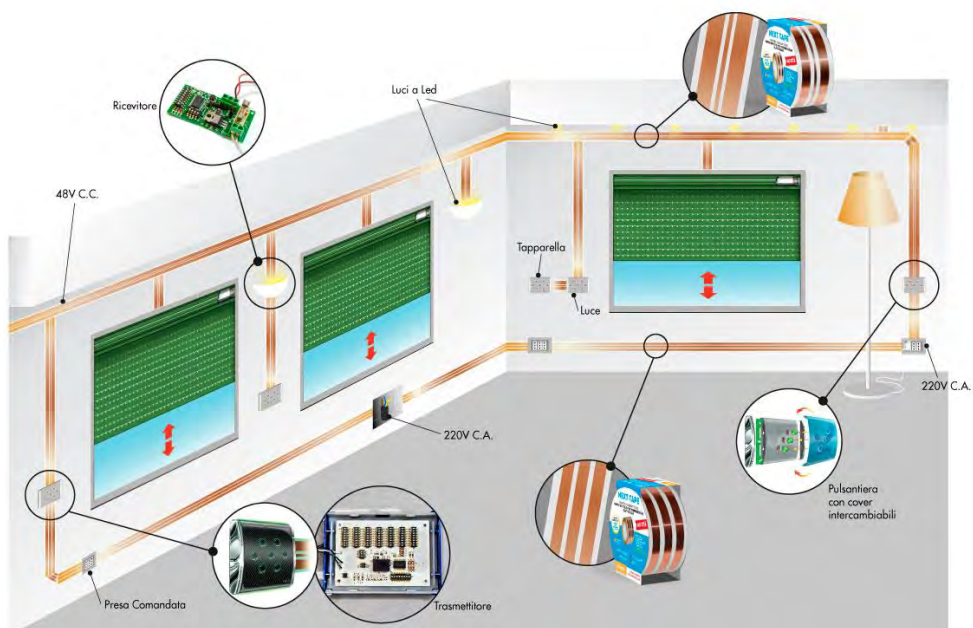
I punti di forza del nastro non si limitano ai risparmi energetici in esercizio, ma si estendono anche agli aspetti di messa in opera dell'impianto. Infatti, i tradizionali impianti elettrici devono essere inseriti nelle pareti all'interno di canaline in materiale plastico, con conseguenze sulle caratteristiche di isolamento dell'involucro, in quanto gli scassi che contengono i cavi costituiscono una soluzione di continuità nelle pareti, modificando la trasmittanza termica e riducendo le proprietà isolanti.

Il nastro Next, invece, è stato ideato per essere semplicemente incollato sulla superficie interna del muro, grazie ad uno strato adesivo, e successivamente coperto mediante semplice verniciatura. In questo modo le pareti non vengono alterate in alcun modo ed è così possibile mantenere un

elevato grado di isolamento in tutto l'involucro. Il nastro rappresenta quindi una soluzione ideale per l'impianto elettrico di case di nuova generazione, in grado di garantire quella passività termica necessaria all'abbattimento dei fabbisogni termici. Anche la sicurezza è assicurata, in quanto, come detto precedentemente, l'isolamento è garantito fino a 4000V.



2.1.3 Impianto tradizionale, da Next s.r.l.



2.1.4 Impianto con nastro Next, da Next s.r.l.

Inoltre, il layout degli impianti tradizionali deve essere accuratamente pensato prima della messa in opera, in quanto, come detto, sono necessari i condotti all'interno delle pareti, e anche ulteriori modifiche successive comportano interventi invasivi e deleteri per le caratteristiche di isolamento delle pareti, oltre che fastidiosi per l'utente. Il nastro, invece, non presenta tutti questi inconvenienti, perché l'aggiunta di eventuali diramazioni viene effettuata semplicemente incollando il nuovo ramo alla parete collegandolo alla rete già esistente, senza effettuare interventi di perforazioni nei muri. Un ulteriore risparmio energetico indiretto, riguarda quindi anche l'energia elettrica per eventuali utensili utilizzati per la messa in opera dell'impianto tradizionale e lo smaltimento del materiale di risulta, conseguente all'installazione.

L'utilità di un impianto costituito dal nastro Next si nota anche nella riqualificazione di edifici già esistenti, in quanto le già descritte caratteristiche di flessibilità permettono un'installazione semplice e rapida senza interventi distruttivi. Inoltre il nastro può funzionare anche in corrente alternata, permettendo quindi la possibilità di installazione in parallelo a reti tradizionali, fornendo la possibilità di avere un impianto ibrido nel quale la parte illuminazione e frigorifero può funzionare in corrente continua, mentre le apparecchiature di potenza possono funzionare in corrente alternata. Un'ulteriore applicazione si potrebbe avere anche per la produzione di acqua calda sanitaria, mediante il collegamento diretto all'impianto in corrente continua di un boiler a resistenza elettrica. In questo modo, a differenza di impianto solare termico, si utilizzerebbe un impianto fotovoltaico per riscaldare l'acqua nel serbatoio di accumulo.

Come si è visto, l'utilizzo della distribuzione in corrente continua nel settore residenziale può portare a significativi risparmi energetici, pertanto ulteriori ricerche in questo campo sono auspicabili per poter arrivare a definire un nuovo standard più compatibile con le filosofie di risparmio energetico, con la possibilità di integrare le fonti di energia rinnovabili.

2.2 Impianti a tutta aria

Gli impianti a tutta aria per la climatizzazione ambientale provvedono a sopperire ai carichi sensibili e latenti della zona da condizionare, senza che ci sia bisogno di ulteriore raffreddamento all'interno della zona stessa. Il riscaldamento può essere effettuato direttamente sia in unità di trattamento aria, sia mediante post-riscaldamento di zona.

I vantaggi di un sistema centralizzato sono la possibilità di raggruppare gli elementi più ingombranti e rumorosi in una zona separata dagli ambienti da climatizzare.

I vantaggi di un sistema a tutta aria sono:

- buona adattabilità all'economizzazione lato aria, al recupero di calore, alla umidificazione invernale e alle richieste di elevate portate d'aria esterna
- ottimo controllo di temperatura e umidità delle zone da climatizzare
- ottimi nelle applicazioni nelle quali la qualità dell'aria interna è fondamentale (es. sale operatorie)
- utili per essere usati nei controlli antincendio
- semplicità del cambio di regime invernale/estivo e viceversa
- possibilità di riscaldare e raffrescare contemporaneamente zone diverse

Fra gli svantaggi si riportano:

- grande richiesta di energia elettrica per i ventilatori
- difficoltà del bilancio dell'aria
- difficoltà nell'assicurare il comfort in ambienti con bassa temperatura esterna e caratteristiche tipiche dell'involucro dell'edificio quando l'aria calda è usata per riscaldare le zone esterne

Gli impianti a tutta aria sono costituiti da un'unità centrale di condizionamento nella quale l'aria, dopo essere stata filtrata subisce i processi di riscaldamento/raffreddamento, umidificazione o deumidificazione e viene avviata nei canali di distribuzione, mediante l'utilizzo di un ventilatore, fino ai terminali di impianto che provvedono a immetterla nei locali. Dove è previsto il ricircolo è presente anche un sistema di bocchette e canalizzazione per la ripresa dell'aria.

Due aspetti rivestono grande importanza nel funzionamento di questi sistemi:

- la costanza o la variabilità nel tempo della portata d'aria
- la velocità dell'aria nei condotti di distribuzione

L'entità della portata d'aria in circolazione è determinata dai carichi ambientali massimi ai quali l'impianto deve far fronte, che, nel caso di funzionamento sia estivo che invernale, deve essere dimensionato per la portata maggiore fra i due regimi. Questo porta al fatto che un impianto a portata costante opera per la gran parte del tempo con portate molto superiori a quelle necessarie e perciò la regolazione avviene sulla temperatura dell'aria immessa in ambiente.

Fra gli impianti a portata costante si distinguono due tipologie principali:

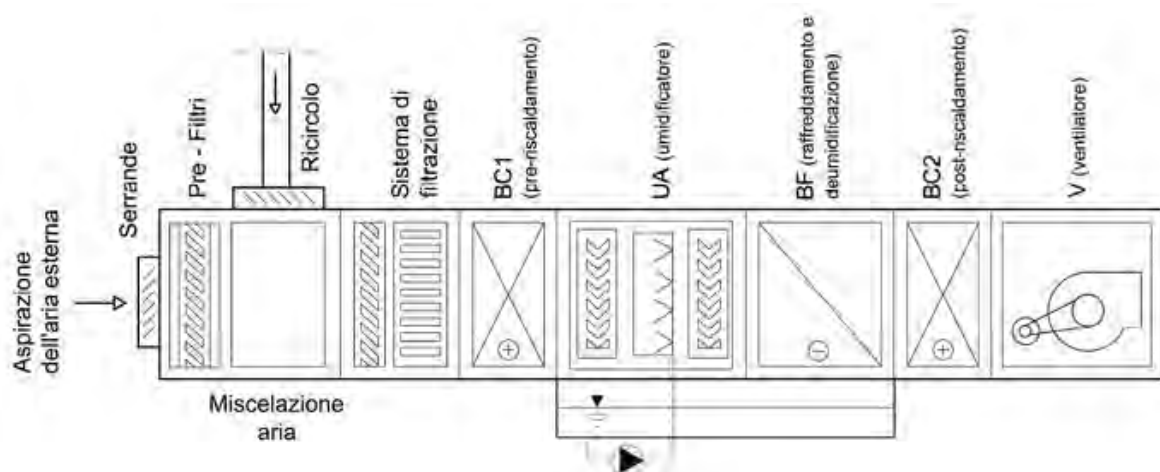
- impianti a bassa velocità: la velocità dell'aria nei canali è di circa 10 m/s
- impianti ad alta velocità: la velocità dell'aria è dell'ordine di 25-30 m/s

2.2.1 L'unità di trattamento aria

L'UTA è il luogo dove avviene il condizionamento dell'aria prima di essere mandata nelle zone climatiche.

Essa solitamente è costituita da:

- serrande motorizzate: modificano la geometria del condotto, variando le portate in circolazione
- sistema di filtrazione: filtra l'aria esterna eliminando tutte le componenti indesiderate nell'aria, dalle gocce di rugiada nell'aria, alle polveri atmosferiche inquinanti, fino a virus e batteri. È costituito da separatore di gocce e filtri veri e propri, di efficienza variabile in base al tipo di applicazione.
- batteria di pre-riscaldamento: qui l'aria viene riscaldata con una portata d'acqua calda proveniente da caldaia o da una pompa di calore
- sezione di umidificazione: l'aria viene umidificata mediante l'immissione in condotto di vapor d'acqua
- batteria di raffreddamento e deumidificazione: in questa batteria l'aria viene raffreddata e deumidificata mediante condensazione del vapor d'acqua sulla superficie delle alette
- batteria di post-riscaldamento: dopo essere stata raffreddata e deumidificata l'aria viene portata alla temperatura di immissione
- ventilatore di mandata: invia l'aria nelle zone climatiche, deve avere prevalenza tale da vincere le perdite di carico a valle. Può essere a portata costante o variabile



2.2.1 Schema di UTA, in <<http://www.azimpiantisrl.com/project1/modules/articoli/article.php?storyid=4>>

Regime invernale

Le trasformazioni che avvengono nel caso invernale sono le seguenti:

- M: in caso di ricircolo la portata d'aria esterna nelle condizioni E viene miscelata con una certa portata proveniente dall'ambiente in condizioni A. Il punto M, rappresentante le condizioni dell'aria miscelata, si muove lungo il segmento E-A, al limite coincidente con il punto E, nel caso di 100% di portata d'aria esterna.
- M-D: pre-riscaldamento a umidità specifica costante, avviene nella batteria di pre-riscaldamento.
- D-C: umidificazione adiabatica, la portata d'aria viene umidificata e la temperatura si abbassa, si realizza nell'umidificatore.
- C-I: post-riscaldamento ad umidità specifica costante, avviene nella batteria di post-riscaldamento. Qui avviene la regolazione della temperatura di immissione in ambiente.

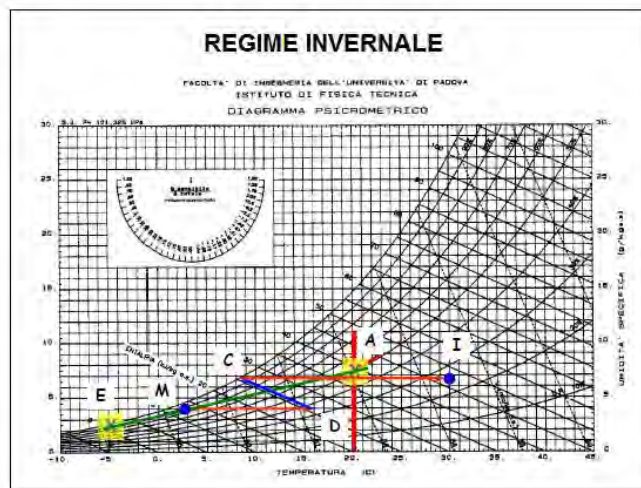


Figura 2.2.2 Trasformazioni in regime di riscaldamento

Regime estivo

In regime estivo le trasformazioni dell'aria sono:

- M: analogamente al caso invernale, se è presente il ricircolo l'aria entra in UTA nelle condizioni M.
- M-D: raffreddamento con deumidificazione, avviene nell'apposita batteria. Qui viene imposta l'umidità specifica di immissione.
- D-I: post-riscaldamento, si realizza nella batteria di post-riscaldamento. La temperatura di immissione viene regolata.

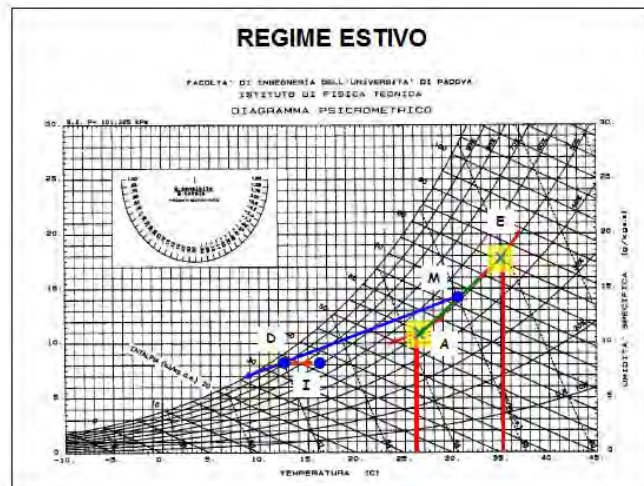


Figura 2.2.3 Trasformazioni in regime di raffrescamento

2.2.2 Impianti a canale singolo

Negli impianti a canale singolo un solo canale connette l'unità di trattamento aria con gli ambienti. La portata può variare fra ambienti diversi, ma le condizioni di immissione sono le stesse, in quanto l'intero processo di condizionamento avviene nell'UTA. Conseguenza di ciò è che l'impianto può soddisfare una singola zona, quindi, nel caso di zone diverse all'interno dello stesso edificio necessitano di più impianti di questo tipo.

In regime invernale la prima batteria di riscaldamento determina l'umidità specifica di immissione, mentre con la batteria di post-riscaldamento si agisce sulla temperatura di immissione.

In regime estivo la prima batteria di riscaldamento è inattiva e la batteria di raffreddamento e deumidificazione agisce sull'umidità specifica in ingresso. La temperatura viene controllata dalla batteria di post-riscaldamento.

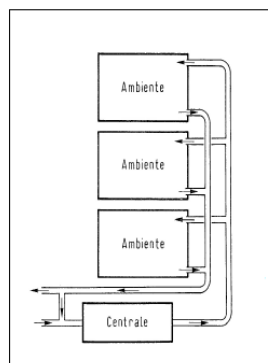


Figura 2.2.4 Impianto a singolo canale

2.2.3 Impianti con post-riscaldamento di zona

In questo tipo di impianti il post-riscaldamento non viene più effettuato in UTA, ma in prossimità della zona da climatizzare. Per questo motivo, a differenza degli impianti a canale singolo, è possibile climatizzare zone diverse con lo stesso impianto, in quanto la temperatura di immissione può variare per singola zona.

La regolazione può essere effettuata:

- con termostato: la temperatura ambiente è fissata e varia l'umidità relativa

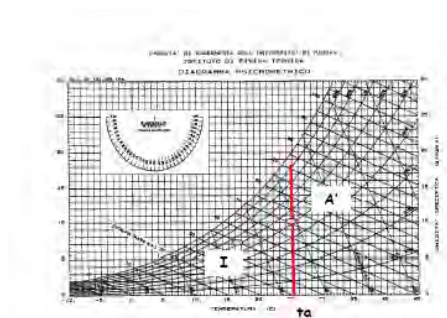


Figura 2.2.5 Controllo con termostato

- con umidostato: l'umidità relativa è mantenuta costante e varia la temperatura

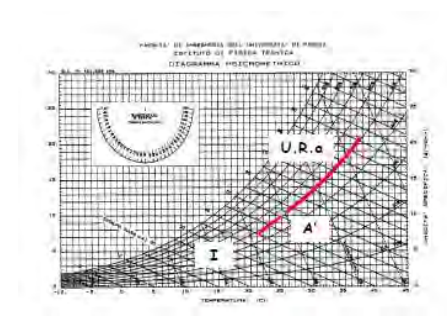


Figura 2.2.6 Controllo con umidostato

2.2.4 Impianti multizona

In questi impianti l'aria di rinnovo si miscela con quella di ricircolo; la portata d'aria risultante viene suddivisa in due parti. La prima parte attraversa la batteria di raffreddamento e confluisce nel plenum freddo, mentre la seconda parte attraversa, nel regime estivo, la batteria di riscaldamento, oppure, in regime invernale, la batteria di riscaldamento e il saturatore adiabatico, confluyendo poi nel plenum caldo.

A valle dei plenum vi sono tanti canali quante sono le zone da climatizzare; questi canali, uno dal plenum freddo e uno dal plenum caldo, convergono verso ogni singola zona in un unico canale,

dove avviene la miscelazione delle portate, che vengono regolate tramite serrande motorizzate, controllate dai termostati di zona.

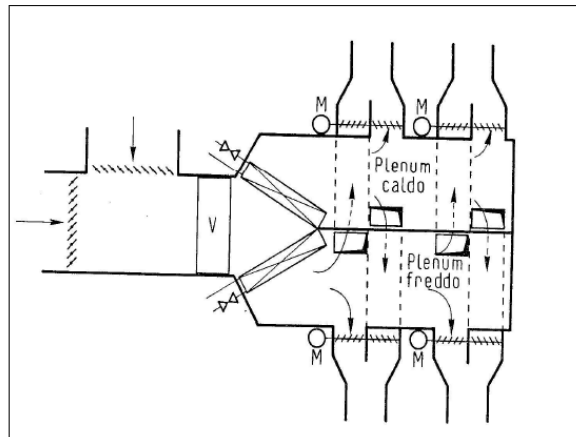


Figura 2.2.7 Impianto multizona

2.2.5 Impianti a doppio canale

Sono simili agli impianti multizona, con la differenza che, al posto dei plenum, vi sono due canali, uno per la portata d'aria fredda e l'altro per la portata calda. La regolazione avviene nelle cassette di miscelazione poco a monte delle zone climatiche. Questi impianti rientrano fra gli impianti ad alta velocità, infatti l'esigenza di costruire due canali per l'aria comporta la necessità di contenere gli ingombri e quindi di ridurre la sezione di questi ultimi, con il conseguente aumento della velocità dell'aria. Nel canale freddo circola aria a 10-15°C con una portata pari alla somma di tutte quelle richieste dalle singole zone. L'aria nel canale caldo è a 22-40°C con una portata di circa 50-75% di quella del canale freddo. Un inconveniente di questo tipo di impianti è il fatto che, se cambia una delle portate, ne risentono le unità a valle, occorre quindi prevedere situazioni intermedie.

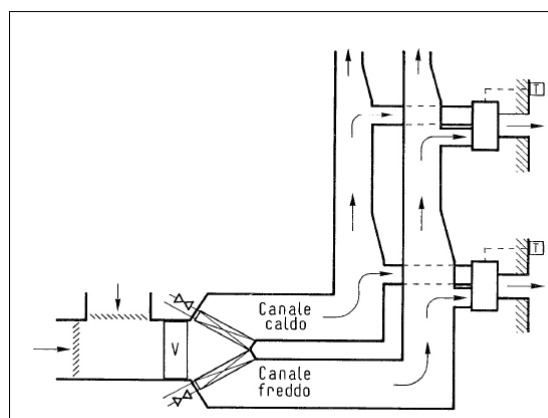


Figura 2.2.8 Impianto a doppio canale

2.2.6 Impianti a portata variabile

In questi impianti la regolazione non avviene più modificando la temperatura di immissione, ma regolando la portata d'aria immessa in zona, a temperatura costante. La variazione di portata avviene nei terminali di impianto a geometria variabile, mediante l'utilizzo di serrande motorizzate e regolata con un sistema di controllo, solitamente mediante ventilatori a velocità variabile.

Si distinguono vari tipi di impianti a portata variabile:

- semplice: l'aria viene condizionata in UTA e immessa nei canali di distribuzione dal ventilatore di mandata. Nelle cassette terminali di zona si ha una variazione di portata.

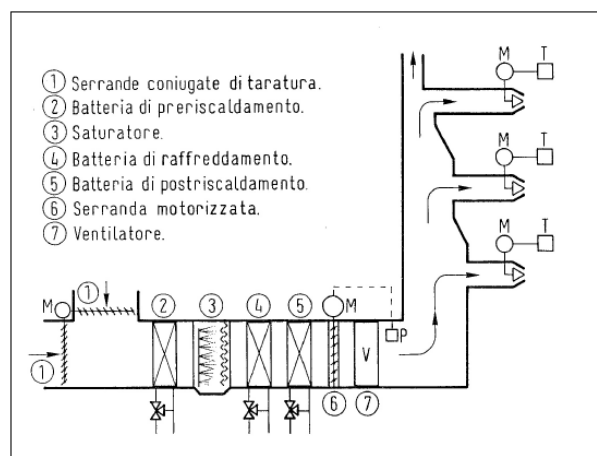


Figura 2.2.9 Impianto a portata variabile

- con post-riscaldamento di zona: nelle cassette vi è una batteria di post-riscaldamento che regola la temperatura di immissione. Solitamente usata per le zone perimetrali che subiscono maggiormente l'influenza dell'ambiente esterno.

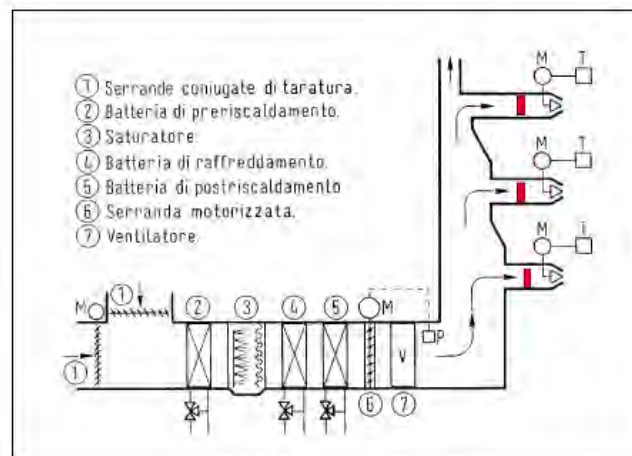


Figura 2.2.10 Impianto a portata variabile con post-riscaldamento di zona

- con unità di ricircolo locale: l'UTA tratta solo aria primaria che viene inviata a speciali cassette dotate di ventilatore che permette di ricircolare aria di ripresa e di miscelarla con l'aria primaria
- a doppio canale: come per gli impianti a portata costante, vi sono due canali, uno con aria fredda e uno con aria calda, la miscelazione avviene in prossimità delle zone

Fra i vantaggi di un impianto a portata variabile vi sono:

- ottimo controllo della temperatura
- possibilità di servirsi del free cooling
- ingombri ridotti
- ridotti consumi energetici
- possibilità di contenere la portata, rispetto ad altri sistemi
- manutenzione in zone non occupate
- controllo della regolazione in zona

Il principale svantaggio è la regolazione ai carichi ridotti in termini di qualità e condizioni dell'aria.

Gli impianti a tutta aria a portata variabile solitamente sono usati per edifici commerciali oppure pubblici, come ad esempio le scuole. Tuttavia negli ultimi tempi si sta diffondendo il loro utilizzo anche nel settore residenziale, con lo scopo di ridurre i consumi dovuti alla climatizzazione ambientale, accoppiati alla costruzione di edifici con un sempre minor tasso di infiltrazione ed un maggior grado di isolamento.

2.3 La casa passiva

La casa passiva è uno standard costruttivo sviluppato da Bo Adamson e Wolfgang Feist con lo scopo di creare una tecnologia costruttiva che permettesse la costruzione di edifici a bassissimo consumo.

Una casa passiva infatti permette di ridurre drasticamente i fabbisogni energetici, soprattutto in riscaldamento.

Questo risultato viene raggiunto principalmente mediante due modi:

- il superisolamento: per l'involucro dell'edificio vengono utilizzati materiali a bassissima trasmittanza termica

- il bioclimatismo: l'apporto solare viene sfruttato al massimo per riscaldare l'edificio

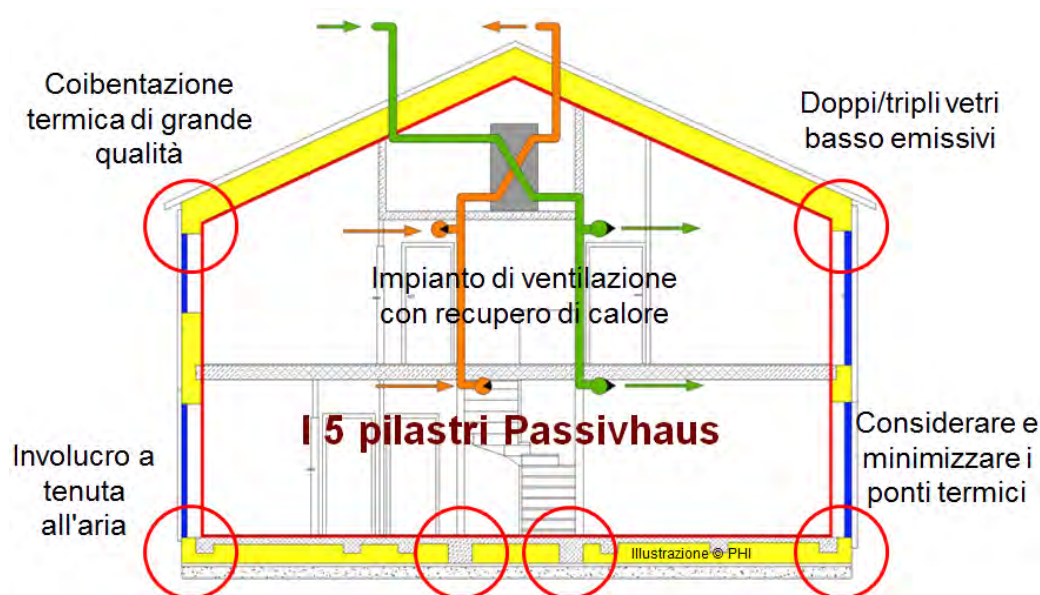
Solitamente la casa passiva è una combinazione di questi due metodi, ma la norma PassivHaus tende a rivolgersi più verso il superisolamento.

Questo metodo comporta però alcuni svantaggi, primo fra i quali il costo, anche se il tempo di ritorno dell'investimento è di circa 5-10 anni.

Con i fabbisogni diminuiti, i carichi interni diventano fondamentali e il numero degli occupanti e le relative attività diventano un contributo importante. Per questo motivo si utilizza il termine passivo: la maggior parte del fabbisogno è soddisfatta automaticamente, senza apparecchi meccanici, sorveglianza o programmazione. Un altro svantaggio è la conseguenza di questo aspetto, in quanto le prestazioni dell'edificio potrebbero essere influenzate da un cattivo utilizzo da parte degli occupanti, ad esempio del sistema di ventilazione.

Lo standard della casa passiva si basa su 6 punti fondamentali:

- ottima protezione termica di tutti gli elementi costruttivi dell'involucro termico
- finestre altamente isolanti con tripli vetri basso emissivi e un elevato fattore solare, e telaio ben coibentati
- esecuzione a regola d'arte della protezione termica, con minimizzazione dei ponti termici
- tenuta all'aria degli elementi costruttivi esterni
- ventilazione controllata con recupero di calore ad alta efficienza
- accurata progettazione e controllo degli apporti solari passivi, progettando accuratamente le superfici trasparenti, evitando contemporaneamente il surriscaldamento estivo



2.3.1 I principi della casa passiva, in <<http://www.zephir.ph/index.php?id=2>>

L'isolamento termico è fondamentale e viene realizzato utilizzando materiali isolanti con trasmittanze termiche inferiori a $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le componenti opache e inferiori a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le superfici finestate. Il fattore solare del vetro deve essere superiore al 50%.

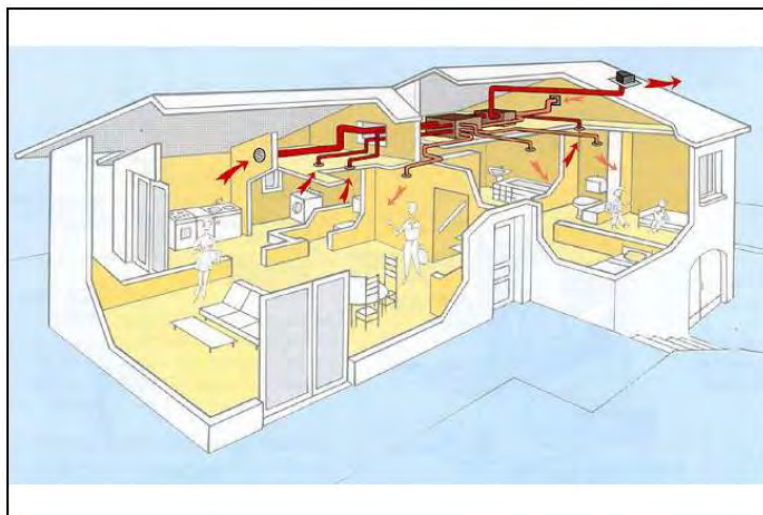
Anche gli spessori sono molto importanti, infatti, se in una casa tradizionale lo spessore dell'isolante è dagli 8 ai 10 cm, nella casa passiva può superare i 30 cm.

Tuttavia lo spessore dell'isolante non è l'unico aspetto importante, conta molto anche la sua posizione nella parete. Infatti nella casa passiva l'isolante si trova verso l'esterno: l'isolante nella parete interna della parete produce intrinsecamente ponti termici a livello dei pavimenti, dei balconi o dei tramezzi, quindi anche superando i 10 cm di isolante interno, non si ha un vero vantaggio, ma al contrario si ha un aumento delle perdite.

La ventilazione è un altro punto centrale. In una casa passiva è in funzione dei bisogni e assicura continuamente una perfetta qualità dell'aria.

Si utilizza un sistema di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso con recupero di calore. Una buona ventilazione a doppio flusso assicura un rinnovo d'aria indipendente dalle condizioni meteorologiche o dal clima. Tuttavia il sistema VMC prevede che vi sia la totale assenza di ventilazione naturale, perciò è fondamentale lasciare chiuse porte e finestre: l'aria è diffusa in alcuni ambienti e aspirata da altri, perciò un eventuale apertura dei serramenti porterebbe a scompensi nei flussi d'aria, con conseguenze sul recupero di calore. Quindi, come accennato precedentemente, il comportamento degli occupanti dell'abitazione può influire negativamente sulle prestazioni dell'edificio.

Fra gli svantaggi della VMC vi sono l'elevato costo di esercizio e il costo di manutenzione, soprattutto per quanto riguarda i filtri, per questo motivo l'ideale sarebbe prelevare l'energia elettrica per i ventilatori da fonti rinnovabili come pannelli fotovoltaici e micro-turbine eoliche.



2.3.2 Impianto vmc a doppio flusso con recupero di calore

La finestra è il vero punto debole dell'edificio: si hanno le maggiori perdite per trasmissione, ma si hanno anche i maggiori apporti solari.

Nella casa passiva il classico doppio vetro viene sostituito da un triplo vetro basso emissivo, in questo modo la parte problematica della finestra non è più il vetro, bensì il telaio. Per questo motivo si preferisce utilizzare finestre con ampie superfici vetrate.

Un vantaggio del triplo vetro è quello di avere temperatura superficiale interna prossima a quella ambiente, con benefici sul comfort termico.

In una casa passiva l'orientamento delle finestre è ancora più importante, si cerca di posizionarle il più possibile verso sud, in quanto orientamenti verso nord sono sempre deficitari. Ma anche est e ovest non comportano alcun apporto solare in inverno e subiscono troppi guadagni in estate. Quindi si riduce al minimo il numero di finestre rivolte verso nord ed ovest, si massimizza la superficie vetrata rivolta a sud e si cerca di non esagerare con quelle rivolte a est.



2.3.3 Finestra a triplo vetro, in <<http://www.archiexpo.it/prod/velux/finestre-tetti-tripli-vetri-50903-940954.html>>

Le casa passiva deve essere concepita e costruita in maniera meticolosa. I ponti termici devono essere eliminati, per diminuire le perdite termiche e scongiurare la formazione di muffe dovute alla condensazione dell'umidità dell'aria sulle superfici soggette a ponte termico che raggiungono temperature inferiori al punto di rugiada. In aiuto giunge anche la ventilazione meccanica controllata che, grazie alla qualità dell'aria immessa, allontana il rischio di condensa.

Un altro punto fondamentale è la tenuta stagna dell'aria, che garantisce il buon funzionamento dell'impianto di ventilazione, nella casa passiva la quota di aria di infiltrazione è ridotta al minimo ed è anche uno dei criteri principali di progettazione.

Normativa ASHRAE 55-2004 infatti stabilisce che una casa per ottenere la certificazione PassivHaus deve necessariamente rispettare le seguenti condizioni:

- Fabbisogno termico per riscaldamento $\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
- Fabbisogno frigorifero per raffrescamento $\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
- Tenuta all'aria (corrispondente ad una depressione di 50 Pa) $n_{50} \leq 0.6 \text{ vol/hr}$
- Fabbisogno di energia primaria $\leq 120 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
- Basso surriscaldamento estivo (n. gg $< 10\%$ con $T_i > 25^\circ\text{C}$)

È invece consigliato ma non obbligatorio rispettare:

- Progettazione senza ponti termici $< 0.01 \text{ W/mK}$
- Impianti ad alta efficienza; ventilazione interna con recupero di calore superiore al 75%
- Ridotte dispersioni termiche per approntamento e distribuzione ACS
- Utilizzo efficiente della corrente elettrica

Capitolo 3

UN CASO DI STUDIO

L'analisi energetica è stata condotta su un edificio realmente esistente, un'unità abitativa di una bifamiliare situata a Casale sul Sile (TV).

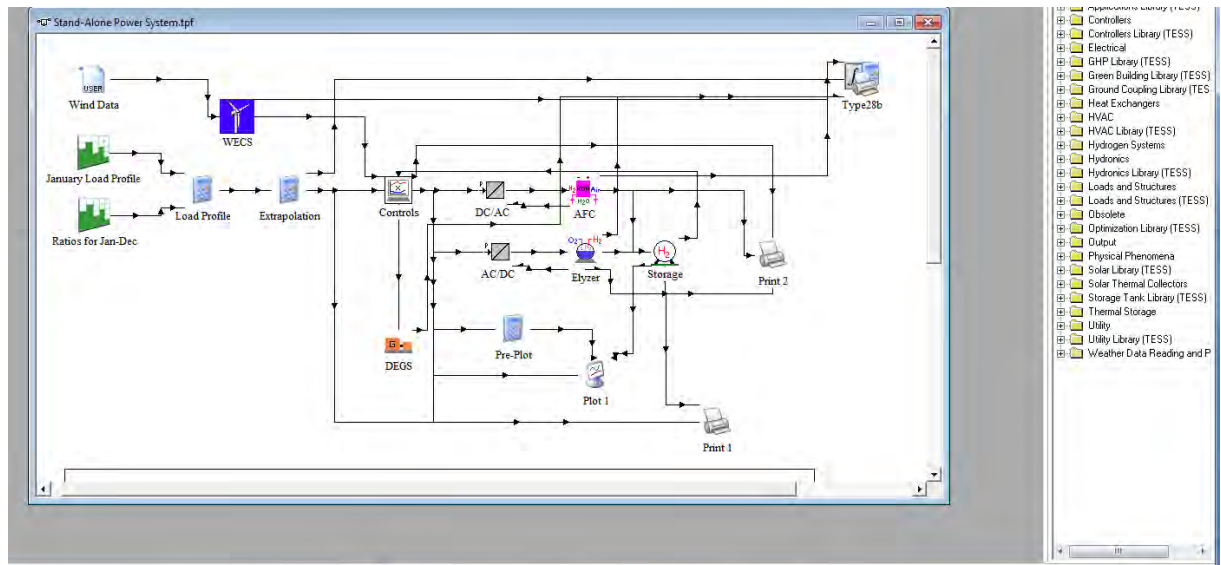
L'edificio è stato modellizzato considerando le caratteristiche dell'involucro, opache e trasparenti, e successivamente è stata condotta una simulazione dinamica nell'arco di un anno, che ha fornito risultati ora per ora dei carichi sensibili e delle temperature ambiente delle varie zone. In seguito è stato simulato un impianto fotovoltaico, con e senza sistema di stoccaggio in batterie.

3.1 Il software Trnsys

La simulazione è stata effettuata mediante il programma di simulazione Trnsys (Transient Energy System), che permette di effettuare simulazioni termiche in condizioni dinamiche di sistemi energetici. È utilizzato per verificare la validità teorica di nuove concezioni energetiche, da semplici sistemi domestici per la produzione di acqua calda sanitaria, a complessi impianti di climatizzazione, con la possibilità di tener conto delle condizioni di regolazione e della generazione energetica mediante fonti rinnovabili. È stato sviluppato dall'Università del Wisconsin e dall'Università del Colorado, commercializzato nel 1975, viene costantemente aggiornato grazie al lavoro di una serie di istituzioni (Solar Energy Laboratory e Thermal Energy Systems Specialist negli Stati Uniti; Aguasol Enginyeria in Spagna, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment in Francia, Transsolar GmbH Energietechnik in Germania). La versione utilizzata è la 16.1.

Trnsys è composto da una suite di programmi integrati:

- Trnsys Simulation Studio: interfaccia con la quale si configura il motore di calcolo delle simulazioni. Con lo Studio si possono creare scenari più o meno complessi mediante l'assemblaggio di una serie di componenti, detti Type, caricati da una libreria interna al programma.



3.1.1 Interfaccia di Simulation Studio

Ogni Type è caratterizzata un modello matematico, detto *proforma*, una subroutine in Fortran che descrive il funzionamento del singolo componente. Le Type hanno una struttura a black-box, leggono gli input provenienti da altre Type o da file esterni, li elaborano secondo la propria programmazione e restituiscono gli output, che a loro volta potranno essere utilizzati da un'altra Type. Ogni Type inoltre, ha una serie di parametri da impostare secondo le esigenze del caso.

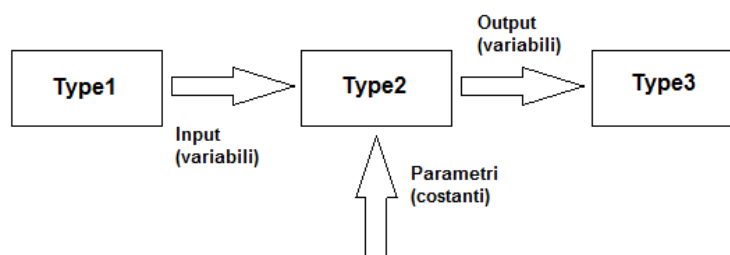


Figura 3.1.2 Logica di funzionamento delle Type

Il software possiede un codice di programmazione open source, che dà agli utenti la possibilità di apportare modifiche e personalizzare i modelli mediante i più comuni linguaggi (C, C++, Pascal, Fortran...).

Oltre alle Type è possibile impostare anche i parametri generali della simulazione come l'intervallo di tempo o lo step al quale calcolare i dati.

I componenti, le modalità secondo le quali questi interagiranno e le impostazioni generali sono raccolti in un file, detto file deck, che rappresenta l'input vero e proprio del motore di simulazione ed è composto da due parti:

- TRNDll.dll: contiene i codici dei componenti, li legge, li richiama e determina la convergenza dei risultati
- TRNExe.exe: esegue la simulazione, per ogni step risolve il sistema di equazioni associato al file deck, tramite un processo iterativo.

- Trnbuild: interfaccia utilizzata per modellizzare edifici e strutture.

Permette la creazione di zone climatiche, delle quali l'apposita Type di Simulation Studio calcolerà i parametri di interesse, come i carichi termici o le condizioni dell'aria.

Una volta definite le zone termiche, si prosegue alla creazione del modello, specificando le caratteristiche delle componenti di involucro, come le stratigrafie, le superfici e l'orientamento delle pareti. È possibile inserire anche i dati relativi alle componenti trasparenti, come la trasmittanza termica dei vetri e del telaio dei serramenti, il rapporto delle aree fra vetro e telaio o i fattori di shading.

Per creare le stratigrafie delle pareti è possibile utilizzare una libreria contenente i principali materiali edili, oppure si può creare un nuovo materiale non esistente in libreria, mediante l'impostazione dei valori di densità, capacità termica specifica e conducibilità termica.

Una volta creata la parete è necessario specificarne l'orientamento e il tipo. Infatti la parete può essere esterna (EXTERNAL), cioè di separazione fra la zona e l'ambiente esterno; adiacente (ADJACENT), cioè in collegamento con un'altra zona; interna (INTERNAL), cioè situata all'interno della zona stessa; di confine (BOUNDARY), cioè a contatto con un ambiente le cui condizioni sono diverse da quelle esterne e possono essere impostate dall'utente (ad esempio nel caso di contatto col terreno).

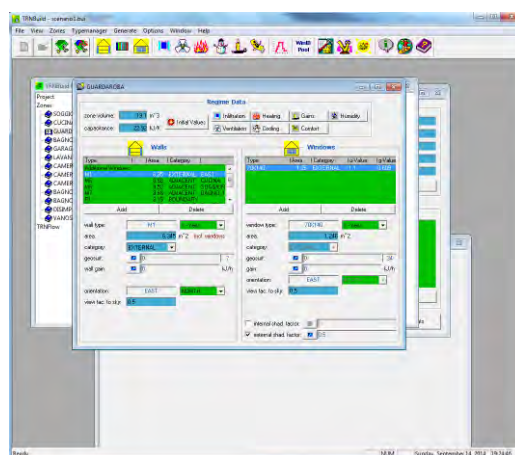


Figura 3.1.3 Interfaccia di Trnbuild

- Trnedit: strumento per la modifica manuale dei file di input e la creazione di applicazioni personalizzate.

3.2 Il modello in Trnbuild

3.2.1 L'edificio

Il primo passo è stato quello di creare il modello geometrico dell'edificio.

Sono state individuate 13 zone climatiche, in corrispondenza di ogni stanza; le dimensioni prese in considerazione si riferiscono alla linea media delle pareti, per poter considerare anche l'effetto dei ponti termici in corrispondenza degli spigoli. In tabella si riportano le superfici e si indica se la zona è climatizzata o meno.

Zona	Superficie	Zona climatizzata
	[m ²]	
SOGGIORNO	48,37	sì
CUCINA	12,88	sì
GUARDAROBA	7,07	sì
BAGNO 1	5,78	sì
GARAGE	40,00	no
LAVANDERIA	5,32	no
CAMERA 1	15,17	sì
CAMERA 2	14,63	sì
CAMERA 3	9,28	sì
BAGNO 2	6,75	sì
BAGNO 3	4,20	sì
DISIMP.	3,81	no
VANOSCALE	7,99	no
TOTALE	181,25	
TOTALE CLIMATIZZATO	124,13	

Nelle seguenti figure si possono vedere le piante rispettivamente del piano terra e del primo piano:

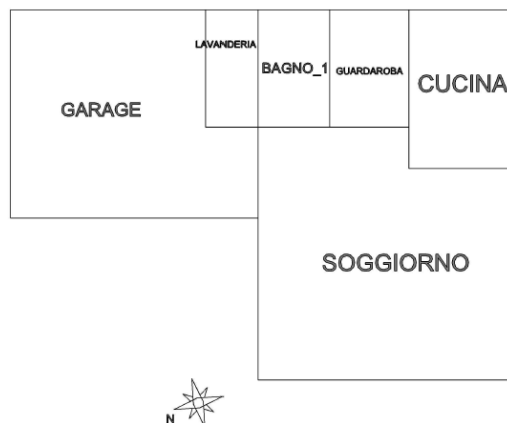


Figura 3.2.1 Pianta del piano terra

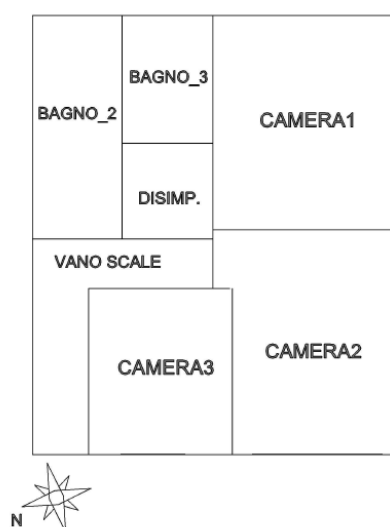


Figura 3.2.2 Pianta del primo piano

In figura si possono vedere le zone climatiche sovrapposte alla planimetria reale dell'edificio:

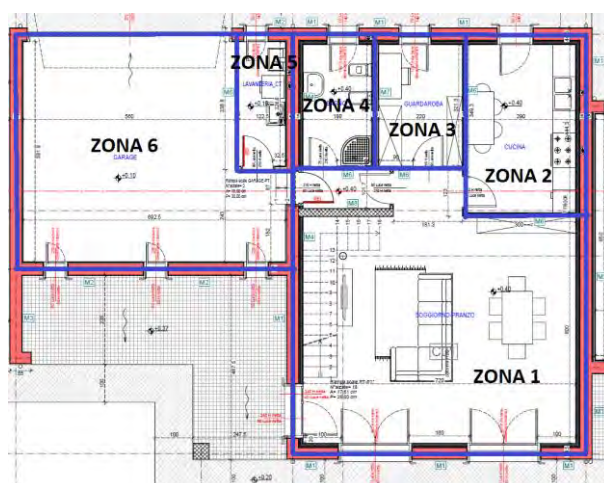


Figura 3.2.3 Planimetria con zone del piano terra

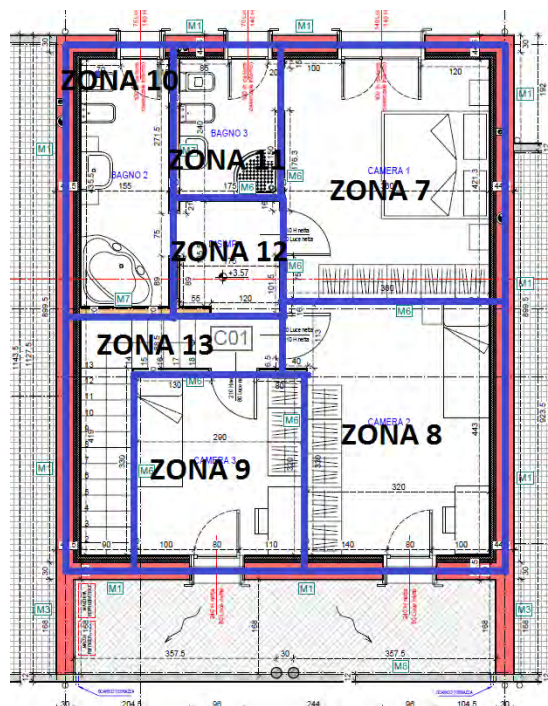


Figura 3.2.4 Planimetria con zone del primo piano

Nella seguente figura si riporta uno schema indicativo dell'edificio:

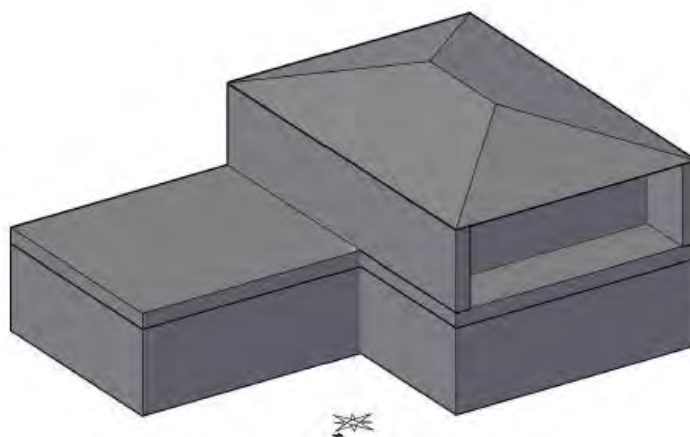


Figura 3.2.5 Schema tridimensionale dell'edificio

Una volta individuate le zone da climatizzare, si è proceduto alla costruzione delle componenti opache dell'edificio. Nella tabella che segue, si riportano le stratigrafie delle pareti utilizzate:

Nome in Trnsys e descrizione	Stratigrafia	Spessore [m]	Conducibilità [W/mK]	Capacità specifica [kJ/kgK]	Densità [kg/m ³]
M1 Muro esterno portante	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
	Lana di roccia	0,060	0,040	0,84	80
	Pannelli isolanti Stirodur	0,060	0,339	1,47	35

	Mattoni	0,300	0,661	0,84	1500
	Intonaco esterno	0,020	0,350	0,84	1200
M2 Muro esterno portante	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
	Lana di roccia	0,073	0,040	0,84	80
	Mattoni	0,300	0,661	0,84	1500
	Intonaco esterno	0,020	0,350	0,84	1200
M4 Muro portante interno adiacente al garage	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
	Lana di roccia	0,065	0,040	0,84	80
	Pannelli isolanti Stirodur	0,065	0,339	1,47	35
	Mattoni	0,300	0,661	0,84	1500
	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
M5 Muro portante interno adiacente al garage del secondo edificio	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
	Lana di roccia	0,085	0,040	0,84	80
	Pannelli isolanti Stirodur	0,085	0,339	1,47	35
	Mattoni	0,300	0,661	0,84	1500
	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
M6 Muro divisorio interno	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
	Intercapedine non ventilata	0,050			
	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
M7 Muro divisorio interno	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
	Lana di roccia	0,050	0,040	0,84	80
	Singola lastra di cartongesso	0,013	0,160	0,84	950
	Intercapedine non ventilata	0,075			
	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,160	0,84	950
M8 Muro portante interno	Singola lastra di cartongesso	0,013	0,160	0,84	950
	Calcestruzzo pesante	0,200	2,200	0,84	2400
	Singola lastra di cartongesso	0,013	0,160	0,84	950
M9 Portone garage	Legno	0,008	0,200	1,88	800
P1 Solaio piano terra verso terreno	Calcestruzzo leggero	0,060	0,120	0,84	350
	Pannelli isolanti Stirodur	0,133	0,339	1,47	35
	Calcestruzzo pesante	0,300	2,200	0,84	2400
P2 Solaio garage verso terreno	Calcestruzzo leggero	0,050	0,120	0,84	350
	Pannelli isolanti Stirodur	0,030	0,339	1,47	35
	Calcestruzzo pesante	0,300	2,200	0,84	2400
S1 Solaio primo piano	Calcestruzzo leggero	0,050	0,120	0,84	350
	Pannelli isolanti Stirodur	0,090	0,339	1,47	35
	Calcestruzzo pesante	0,200	2,200	0,84	2400
	Singola lastra di cartongesso	0,015	0,160	0,84	950
S3 Solaio primo piano verso esterno	Calcestruzzo leggero	0,050	0,120	0,84	350
	Pannelli isolanti Stirodur	0,110	0,339	1,47	35
	Calcestruzzo pesante	0,200	2,200	0,84	2400
	Singola lastra di cartongesso	0,015	0,160	0,84	950
TETTO Tetto a falde	Copertura in tegole di argilla	0,020	0,990	0,84	2000
	Impermeabilizzazione con bitume	0,004	0,170	1,00	1200
	Legno di abete	0,020	0,120	2,70	450
	Intercapedine debolmente ventilata	0,040			
	Polipropilene	0,005	0,220	1,80	910

Pannelli in fibre	0,040	0,070	1,70	250
Pannello naturale in fibra di legno	0,080	0,040	2,10	150
Pannelli in fibre	0,020	0,070	1,70	250
Barriera vapore in bitume puro	0,003	0,170	1,00	1050
Legno di abete	0,020	0,120	2,70	450

Una volta costruite le pareti nell'apposita finestra, Trnbuild calcola automaticamente il valore della trasmittanza termica del singolo muro:

Parete	Trasmittanza [W/m ² K]
M1	0,243
M2	0,376
M4	0,223
M5	0,180
M6	1,509
M7	0,502
M8	2,362
M9	4,762
P1	0,211
P2	0,622
S1	0,292
S3	0,249
TETTO	0,292

Per quanto riguarda le componenti trasparenti dell'edificio, sono state utilizzate le seguenti impostazioni:

Finestra	Trasmittanza vetro [W/m ² K]	Telaio %	Trasmittanza telaio [W/m ² K]	Coefficiente di scambio convettivo		Fattore di shading
				Interno [W/m ² K]	Esterno [W/m ² K]	
SOGGIORNO	1,1	12	1,23	3,05	17,78	0,5
	1,1	15	1,21	3,05	17,78	0,5
CUCINA	1,1	17	1,24	3,05	17,78	0,5
GUARDAROBA	1,1	21	1,29	3,05	17,78	0,5
BAGNO_1	1,1	21	1,29	3,05	17,78	0,5
GARAGE	1,1	35	1,29	3,05	17,78	0,5
LAVANDERIA	1,1	26	1,29	3,05	17,78	0,5
CAMERA1	1,1	15	1,29	3,05	17,78	0,5
CAMERA2	1,1	17	1,24	3,05	17,78	0,5
CAMERA3	1,1	17	1,24	3,05	17,78	0,5
BAGNO_2	1,1	21	1,29	3,05	17,78	0,5
BAGNO_3	1,1	21	1,29	3,05	17,78	0,5

Una volta determinate queste caratteristiche, si è proceduto alla creazione vera e propria delle zone climatiche. Qui si riportano i parametri impostati per la creazione del modello dell'edificio.

SOGGIORNO Vol: 135,2 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	21,84	EXTERNAL	WEST	3,69 x2
M1	9,11	EXTERNAL	SOUTH	
M1	13,76	EXTERNAL	NORTH	3,74
S3	15,47	EXTERNAL	HORIZONTAL	
M8	12,89	INTERNAL		
M6	9,74	ADJACENT CUCINA		
M6	4,53	ADJACENT GUARDAROBA		
M6	3,56	ADJACENT BAGNO_1		
M4	5,27	ADJACENT GARAGE		
S1	0,54	ADJACENT CAMERA1		
S1	13,94	ADJACENT CAMERA2		
S1	9,28	ADJACENT CAMERA3		
S1	1,62	ADJACENT BAGNO_2		
S1	1,82	ADJACENT VANOSCALE		
S1	6,08	ADJACENT DISIMP.		
M5	10,79	BOUNDARY		
P1	53,45	BOUNDARY		

CUCINA Vol: 34,8 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	5,79	EXTERNAL	SOUTH	1,40
M1	8,57	EXTERNAL	EAST	
M6	9,74	ADJACENT SOGGIORNO		
M6	8,68	ADJACENT GUARDAROBA		
S1	12,22	ADJACENT CAMERA1		
S1	0,38	ADJACENT CAMERA2		
M5	7,55	BOUNDARY		
P1	14,96	BOUNDARY		

GUARDAROBA Vol: 19.1 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	6,35	EXTERNAL	EAST	1,20
M6	8,68	ADJACENT CUCINA		
M6	4,53	ADJACENT SOGGIORNO		
M7	8,68	ADJACENT BAGNO_1		

S1	1,93	ADJACENT CAMERA1		
S1	3,60	ADJACENT BAGNO_3		
S1	1,07	ADJACENT DISIMP.		
P1	8,19	BOUNDARY		

BAGNO_1 Vol: 15,6 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	7,40	EXTERNAL		
M7	8,68	ADJACENT GUARDAROBA	EAST	1,25
M6	3,56	ADJACENT SOGGIORNO		
M4	8,68	ADJACENT LAVANDERIA		
S1	4,98	ADJACENT BAGNO_2		
S1	0,12	ADJACENT BAGNO_3		
P1	23,93	BOUNDARY		

GARAGE Vol: 107,6 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M2	22,60	EXTERNAL	WEST	0,38 x3
M2	19,67	EXTERNAL	NORTH	
M9	14,63	EXTERNAL	EAST	
S3	41,11	EXTERNAL	HORIZONTAL	
M4	5,27	ADJACENT SOGGIORNO		
M6	10,51	ADJACENT LAVANDERIA		
P2	41,11	BOUNDARY		

LAVANDERIA Vol: 10,9 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M2	4,08	EXTERNAL	EAST	0,94
S3	4,03	EXTERNAL	HORIZONTAL	
M6	10,51	ADJACENT GARAGE		
M4	8,68	ADJACENT BAGNO_1		
P2	4,03	BOUNDARY		

CAMERA1 Vol: 58,1 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	11,33	EXTERNAL	SOUTH	2,43
M1	9,77	EXTERNAL	EAST	

TETTO	9,07	EXTERNAL	FALDESOUTH	
TETTO	6,77	EXTERNAL	FALDEEAST	
M6	11,71	ADJACENT CAMERA2		
M6	2,74	ADJACENT BAGNO_3		
M6	5,08	ADJACENT DISIMP.		
S1	0,54	ADJACENT SOGGIORNO		
S1	12,22	ADJACENT CUCINA		
S1	1,93	ADJACENT GUARDAROBA		

CAMERA2 Vol: 54,8 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	11,89	EXTERNAL	SOUTH	
M1	6,29	EXTERNAL	WEST	2,46
TETTO	14,26	EXTERNAL	FALDESOUTH	
TETTO	1,02	EXTERNAL	FALDEWEST	
M6	11,71	ADJACENT CAMERA1		
M6	13,17	ADJACENT CAMERA3		
M6	2,18	ADJACENT VANOSCALE		
S1	13,94	ADJACENT SOGGIORNO		
S1	0,38	ADJACENT CUCINA		

CAMERA3 Vol: 39 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	7,41	EXTERNAL	WEST	2,46
TETTO	0,49	EXTERNAL	FALDESOUTH	
TETTO	2,21	EXTERNAL	FALDEWEST	
TETTO	7,00	EXTERNAL	FALDENORTH	
M6	13,17	ADJACENT CAMERA2		
M6	16,76	ADJACENT VANOSCALE		
S1	9,28	ADJACENT SOGGIORNO		

BAGNO_2 Vol: 22 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	4,78	EXTERNAL	EAST	1,34
M1	11,95	EXTERNAL	NORTH	
TETTO	1,25	EXTERNAL	FALDEEAST	
TETTO	5,80	EXTERNAL	FALDENORTH	
M7	7,64	ADJACENT BAGNO_3		
M7	5,08	ADJACENT DISIMP.		
M7	4,63	ADJACENT VANOSCALE		

S1	1,62	ADJACENT SOGGIORNO		
S1	4,98	ADJACENT BAGNO_1		

BAGNO_3 Vol: 18,3 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	4,73	EXTERNAL	EAST	1,34
TETTO	4,17	EXTERNAL	FALDEEAST	
TETTO	0,22	EXTERNAL	FALDENORTH	
M6	2,74	ADJACENT CAMERA1		
M7	7,64	ADJACENT BAGNO_2		
M6	6,10	ADJACENT DISIMP.		
S1	3,60	ADJACENT GUARDARoba		
S1	0,12	ADJACENT BAGNO_1		

DISIMP. Vol: 36,5 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
TETTO	0,52	EXTERNAL	FALDEEAST	
TETTO	2,87	EXTERNAL	FALDENORTH	
M6	5,08	ADJACENT CAMERA1		
M7	5,08	ADJACENT BAGNO_2		
M6	6,10	ADJACENT BAGNO_3		
M7	2,80	ADJACENT VANOSCALE		
S1	1,82	ADJACENT SOGGIORNO		
S1	1,07	ADJACENT GUARDARoba		

VANOSCALE Vol: 16,6 [m ³]				
Tipologia parete	Superficie	Categoria	Orientamento	Superficie finestrata
	[m ²]			[m ²]
M1	11,56	EXTERNAL	NORTH	
M1	2,87	EXTERNAL	WEST	
TETTO	11,56	EXTERNAL	FALDENORTH	
M6	2,18	ADJACENT CAMERA2		
M6	16,76	ADJACENT CAMERA3		
M7	4,63	ADJACENT BAGNO_2		
M7	2,80	ADJACENT DISIMP.		
S1	6,08	ADJACENT SOGGIORNO		

Gli orientamenti che vengono impostati in Trnbuild non sono l'effettiva orientazione della parete, sono solo dei nomi a cui viene assegnato un numero identificativo a seconda dell'ordine in cui sono inserite nella scheda Project.

L'orientazione effettiva dovrà essere specificata come parametro in Simulation Studio, in termini di azimuth.

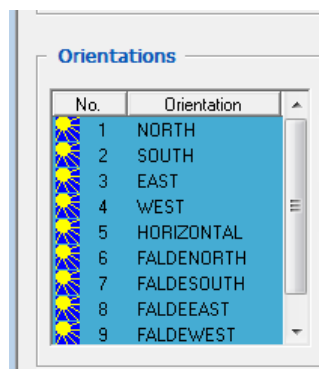


Figura 3.2.6 Gli orientamenti utilizzati nel modello

Successivamente sono state impostate le condizioni per i muri di confine, introducendo due nuove variabili, chiamate T_GARAGE e T_SUOLO, per tenere conto delle diverse condizioni ambientali di alcuni pareti.

Infatti un tratto della parete sud del soggiorno e l'intera parete sud della cucina, confinano con il garage della seconda unità abitativa della bifamiliare e si è ipotizzato che quest'ambiente fosse alla stessa temperatura del garage dell'edificio analizzato.

La variabile T_SUOLO, invece, fornisce come input la temperatura del suolo nel corso dell'anno alla profondità delle fondazioni.

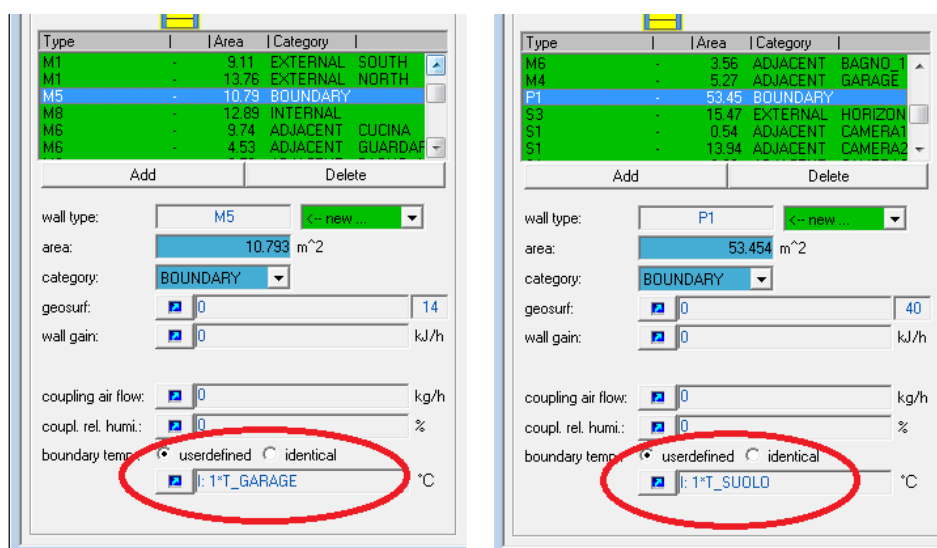


Figura 3.2.7 Le condizioni di boundary modificate

Infine sono state fissate le condizioni per il regime di riscaldamento e raffrescamento e la quota d'aria di infiltrazione. Per il regime di riscaldamento è stata imposta una temperatura ambiente di 21°C per i bagni e di 20°C per tutte le altre stanze riscaldate; in raffrescamento sono state fissate le condizioni ambientali di 26°C di temperatura e di 50% di umidità relativa. L'infiltrazione d'aria è stata fissata a 01, vol/hr.

3.2.2 I carichi interni

Per analizzare l'impatto sul fabbisogno energetico della distribuzione in corrente continua, sono stati creati tre scenari di simulazione con ipotesi differenti:

- scenario 1: distribuzione AC ed elettrodomestici a bassa efficienza
- scenario 2: distribuzione AC ed elettrodomestici ad alta efficienza
- scenario 3: distribuzione mista AC e DC ed elettrodomestici ad alta efficienza

I dati di partenza sono i risultati di una campagna di rilevamento, chiamata progetto MICENE, condotta, nel periodo 2000-2002, da eERG - end-use Energy Efficiency Research Group - del Dipartimento di Energetica del Politecnico di Milano, in collaborazione con la Servizi Territorio SRL. La campagna di rilevamento ha monitorato i consumi di 120 abitazioni nel territorio italiano, con intervallo di rilevazione di 10 minuti e per un periodo minimo di 3 settimane.

L'elaborazione dei dati ha portato alla creazione di profili di carico medi giornalieri ed alla determinazione dei fabbisogni energetici medi di vari elettrodomestici.

I dati MICENE sono disponibili per lavastoviglie, lavatrici, frigoriferi, pc, televisore, video ed illuminazione.

Per gli altri principali elettrodomestici (phon, forno elettrico, aspirapolvere e ferro da stiro), sono stati ipotizzati dei tempi di utilizzo e sono stati creati profili spot settimanali per simulare un utilizzo realistico delle apparecchiature. Per stimare il consumo energetico i tempi di utilizzo sono stati moltiplicati per le potenze medie di apparecchi disponibili sul mercato.

Al fine di stimare i consumi energetici dei vari scenari, è stato effettuato un refitting su frigoriferi e congelatori e sull'impianto di illuminazione.

Apparecchi per il freddo

Per quanto riguarda frigoriferi e congelatori, si è ipotizzato una sostituzione con apparecchi ad alta efficienza energetica funzionanti in AC e apparecchi funzionanti direttamente in DC. Per i primi è

stato preso il valore massimo di consumo per rientrare nella classe A+++, per i secondi è stata effettuata una media fra i prodotti presenti in commercio.

	Consumo annuo		Miglioramento
MICENE	354	[kWh/anno]	
Alta efficienza	190	[kWh/anno]	46%
Direct DC	170	[kWh/anno]	52%

Avendo un confronto con i dati MICENE, è stata stimata la potenza media oraria negli altri casi, semplicemente moltiplicando i valori della potenza oraria per il fattore migliorativo.

Successivamente è stato stimato il fabbisogno annuo per gli altri scenari.

Impianto di illuminazione

Per stimare la potenza assorbita dall'impianto di illuminazione a LED si sono considerati i dati del Progetto MICENE riguardanti l'impianto di illuminazione.

Detta P_{ill} [W] la potenza media oraria per sistemi tradizionali di illuminazione e ε_{ill} [lm/W] l'efficienza media delle tecnologie delle lampade ad incandescenza, alogene e fluorescenti, è stato stimato il flusso luminoso medio F [lm]:

$$F = \varepsilon_{ill} P_{ill}$$

Noto il flusso luminoso, ipotizzando un'efficienza dei LED di 100 lm/W è stata stimata la potenza mediante:

$$P_{LED} = \frac{F}{\varepsilon_{LED}}$$

Ora, considerando che una lampada a LED solitamente è composta dalla stringa di LED, da un driver per il controllo della tensione DC/DC e da un power supply per la conversione AC/DC, si può valutare la potenza assorbita da tutti i componenti mediante la:

$$P_{assorbita} = \frac{P_{LED}}{\eta_{AC/DC} \eta_{DC/DC}}$$

I rendimenti dei componenti elettronici sono stati ricavati da prodotti in commercio e sono di 0,88 e 0,85, rispettivamente per il convertitore di potenza e per il driver.

È stato ipotizzato anche un funzionamento direttamente in corrente continua, che vede l'eliminazione delle perdite di conversione AC/DC:

$$P_{assorbita} = \frac{P_{LED}}{\eta_{DC/DC}}$$

I dati sono riportati nella tabella seguente.

Efficienza luminosa			Efficienza luminosa		
Incandescenza	14,50	[lm/W]	LED	100	[lm/W]
Alogene	18,03	[lm/W]	Efficienza elettrica		
Fluorescenti	73,00	[lm/W]	Power supply AC/DC	0,88	
Media	35,18	[lm/W]	LED Driver DC/DC	0,85	

Si sono quindi costruiti profili di carico annuali, ora per ora, dai quali sono stati calcolati i fabbisogni elettrici annuali. I risultati vengono riportati nelle tabelle seguenti.

Scenario 1

	N° Apparecchi	Consumi Elettrici
		[kWh] annui
PHON	1	146
FERRO DA STIRO	1	157
FORNO ELETTRICO	1	174
ASPIRAPOLVERE	1	209
LAVATRICE	1	249
LAVASTOVIGLIE	1	406
FRIGORIFERO	1	568
CONGELATORE	1	499
PC	2	252
TV	2	248
VIDEO	1	70
ILLUMINAZIONE	1	423
TOTALE		3400

Superficie Utile	Carichi Elettrici
[m ²]	[W/m ²]
124,13	3,13

Scenario 2

	N° Apparecchi	Consumi Elettrici
		[kWh] annui
PHON	1	146
FERRO DA STIRO	1	157
FORNO ELETTRICO	1	174
ASPIRAPOLVERE	1	209
LAVATRICE	1	249
LAVASTOVIGLIE	1	406
FRIGORIFERO	1	305
CONGELATORE	1	268
PC	2	252
TV	2	248
VIDEO	1	70
ILLUMINAZIONE	1	199
TOTALE		2682

Superficie Utile	Carichi Elettrici
[m ²]	[W/m ²]
124,13	2,47

Scenario 3

	N° Apparecchi	Consumi Elettrici
		[kWh] annui
PHON	1	146
FERRO DA STIRO	1	157
FORNO ELETTRICO	1	174
ASPIRAPOLVERE	1	209
LAVATRICE	1	249
LAVASTOVIGLIE	1	406
FRIGORIFERO	1	273
CONGELATORE	1	240
PC	2	252
TV	2	248
VIDEO	1	70
ILLUMINAZIONE	1	175
TOTALE		2598

Superficie Utile	Carichi Elettrici
[m ²]	[W/m ²]
124,13	2,39

Per quanto riguarda i carichi latenti, è stata ipotizzata una permanenza di giornaliera di 12 ore per 4 persone. I carichi latenti vengono considerati costanti per ogni zona e sono uguali per tutti gli scenari di simulazione.

N° Persone	Ore Di Permanenza	Carichi Latenti
[-]	[hr]	[W/m ²]
4	12	1,13

Infine è possibile determinare i carichi interni totali, i quali vengono supposti costanti per ogni zona climatizzata.

Carichi Interni Totali		
Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]
4,25	3,59	3,52

3.3 La simulazione dinamica

Una volta completata la configurazione del modello in Trnbuild, è stata creata la schematizzazione in Simulation Studio. In seguito si descrivono le Type utilizzate e le relative configurazioni, sia per la simulazione dell'edificio, sia di quella dell'impianto fotovoltaico.

3.3.1 Le Type utilizzate nella simulazione

- Type15-6: legge dati meteorologici ad intervalli di tempo regolari da un file esterno, presente nella libreria del programma, interpolandoli ad intervalli minori di un'ora e li rende disponibili ad altri componenti.
- Type56-a: modella il comportamento termico di un edificio. La relativa descrizione viene letta da file esterno, nella fattispecie dal *.bui creato con Trnbuild. Nella simulazione in oggetto il componente fornisce come output le temperature ambiente e i carichi sensibili delle zone climatizzate.

- Type77: il componente modella la distribuzione verticale di temperatura del suolo, in funzione della temperatura media superficiale del suolo annuale, della sua variazione annuale, del tempo fra l'inizio dell'anno e l'istante al quale si ha la minima temperatura superficiale e la diffusività termica del suolo.
- Type33e: questo componente ha come input la temperatura a bulbo secco e l'umidità relativa dell'aria umida e fornisce come output i dati psicrometrici della miscela aria-vapore in quelle condizioni.
- Type25c: stampa i dati su file esterni (*.txt ad esempio), non stampa le unità di misura dei dati.
- Type65-c: stampa i dati adimensionali su file esterno e contemporaneamente visualizza un plotter online con i risultati della simulazione.
- Type57: converte le unità di misura delle variabili in input.
- Type94a: simula una stringa di pannelli fotovoltaici, note la radiazione solare e la temperatura ambiente.
- Type9a: legge file di dati esterni impostati dall'utente.
- Type47a: simula un sistema di stoccaggio di batterie al piombo con elettrolita acido, come input utilizza la potenza da e verso il sistema stesso. Come output fornisce lo stato di carica del pacco batterie.
- Type48b: simula un sistema di controllo inverter e regolatore di carica MPPT. In input ha la potenza fornita dai pannelli, i carichi elettrici e lo stato di carica delle batterie. Come output fornisce la potenza ai carichi, la potenza da e verso le batterie e la potenza prelevata da rete.

3.3.2 Configurazione delle Type

Edificio

- Type15-6: legge i dati Meteonorm da file esterno relativi alla località di Venezia Tessera, la più vicina al luogo nel quale è effettivamente collocato l'edificio.

Parametri:

Slope of surface-n: angolo verticale della n-esima superficie

Azimuth of surface-n: orientamento effettivo dell'n-esima superficie

- Type56-a: legge i dati dell'edificio da file esterno *.bui.

Input:

Forniti dalla Type15-6

TAMB: temperatura a bulbo secco ambiente (*Dry bulb temperature*)

RELHUMAMB: umidità relativa ambiente (*Percent relative humidity*)

TSKY: effettiva temperatura del cielo (*Effective sky temperature*)

IT_nsurface: radiazione solare totale per l'n-esima superficie (*Total tilted radiation for surface-n*)

IT_HORIZONTAL: radiazione solare totale per la superficie orizzontale (*Total horizontal radiation*)

IB_nsurface: radiazione solare diretta per l'n-esima superficie (*Beam radiation for surface-n*)

IB_HORIZONTAL: radiazione solare diretta per la superficie orizzontale (*Horizontal beam radiation*)

AI_nsurface: angolo di incidenza della radiazione solare per l'n-esima superficie (*Angle of incidence for surface-n*)

AI_nsurface: angolo di incidenza della radiazione solare per la superficie orizzontale (*Angle of incidence for horizontal*)

T_GARAGE: temperatura del garage dell'unità abitativa adiacente, posta uguale alla temperatura del garage dell'edificio analizzato

T_SUOLO: temperatura del suolo (*Soil temperature at node*)

- Type77: fornisce la temperatura del suolo

Parametri:

Mean surface temperature: temperatura media del suolo nel corso dell'anno (13.01°C)

Amplitude of surface temperature: ampiezza della temperatura del suolo (9.88°C)

Time shift: momento al quale si ha la temperatura minima del suolo (294 hr)

Depth at point: profondità alla quale si calcola la temperatura del suolo (0.8 m)

- Type33e: fornisce i dati psicometrici dell'aria

Input:

Dry bulb temperature: temperatura dell'aria

Percent relative humidity: umidità relativa dell'aria

Atmospheric pressure: pressione dell'aria

N.B.: se non specificato altrimenti, i valori dei parametri sono quelli di default.

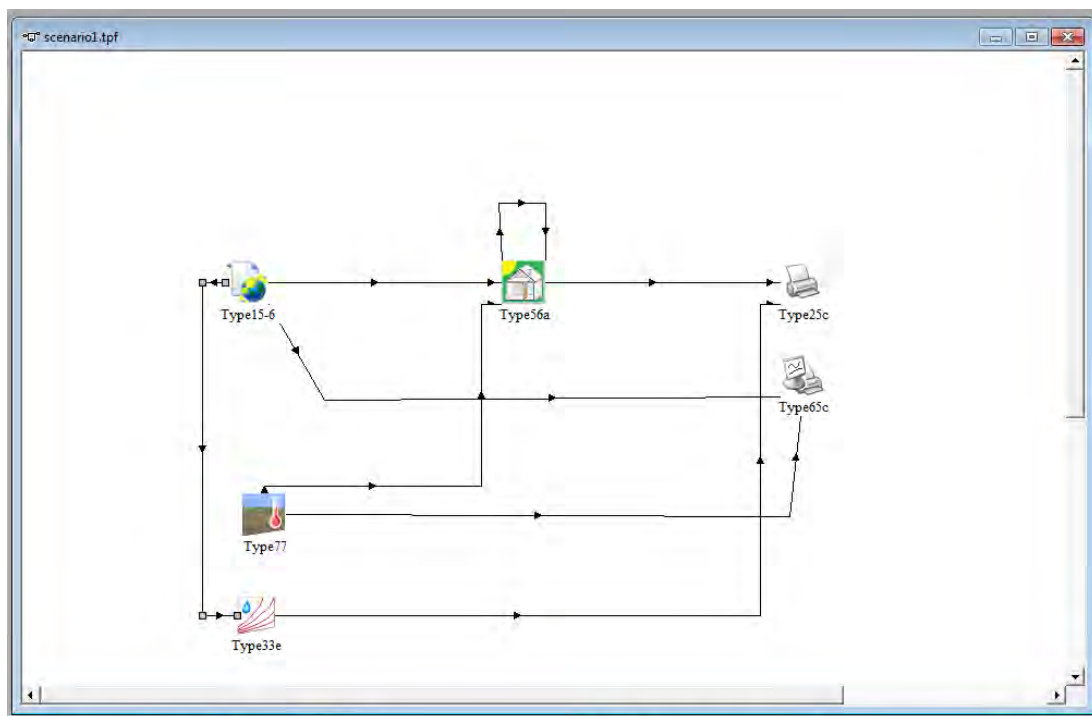


Figura 3.2.8 Il modello in Simulation Studio

Impianto fotovoltaico

- Type15-6: legge i dati Meteonorm da file esterno relativi alla località di Venezia Tessera, la più vicina al luogo nel quale è effettivamente collocato l'edificio.

Parametri:

Slope of surface-n: angolo verticale della n-esima superficie

Azimuth of surface-n: orientamento effettivo dell'n-esima superficie

- Type57: converte le unità di misura della temperatura dell'aria da gradi Celsius a gradi Kelvin

Parametri:

ID number from table for output: parametro che indica l'unità di misura

- Type94a: stringa di pannelli. Ve ne sono due per considerare le diverse orientazioni delle falde del tetto.

Parametri:

Module short-circuit current at reference conditions: corrente di corto circuito del pannello

Module open-circuit voltage at reference conditions: tensione di circuito aperto del modulo

Module voltage at max power point and reference conditions: tensione all'MPP

Module current at max power point and reference conditions: corrente all'MPP

Number of cells wired in series: celle del pannello

Number of module in series: pannelli collegati in serie

Number of module in parallel: pannelli collegati in parallelo

Module area: superficie del pannello

- Equa: calcola la somma delle potenza da stringa per le due diverse orientazioni

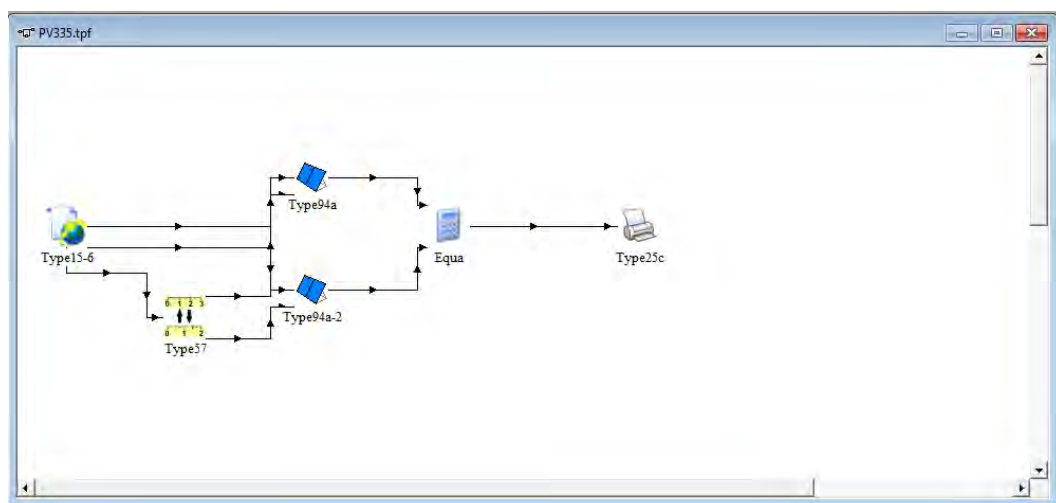
Input:

PPV_EAST: potenza da stringa per i pannelli rivolti ad est

PPV_SOUTH: potenza da stringa per i pannelli rivolti a sud

Output:

PPV_TOTAL: potenza totale dai pannelli fotovoltaici



3.2.9 Il modello dell'impianto fotovoltaico in Simulation Studio

Impianto fotovoltaico con sistema di stoccaggio

La prima parte del modello è identica a quella del sistema senza batterie, a valle della prima calcolatrice vi sono le Type diverse.

- Type9a: legge il file .txt con i carichi elettrici dei vari scenari di simulazione
- Equa2: converte le unità di misura dei carichi elettrici
- Type48b: simula il sistema inverter-regolatore di carica

Parametri:

Regulator efficiency: efficienza del regolatore di carica

Low limit on FSOC: limite inferiore dello stato di carica frazionario, fissato a 0,7

Input:

Input power: potenza dai pannelli solari

Load power: potenza richiesta dai carichi

Fractional state of charge: stato di carica frazionario delle batterie

- Type47a: simula il pacco batterie

Parametri:

Cell energy capacity: capacità della singola batteria (874 Wh)

Cells in series: numero di celle in serie (24)

Input:

Power to or from battery: potenza da o verso le batterie

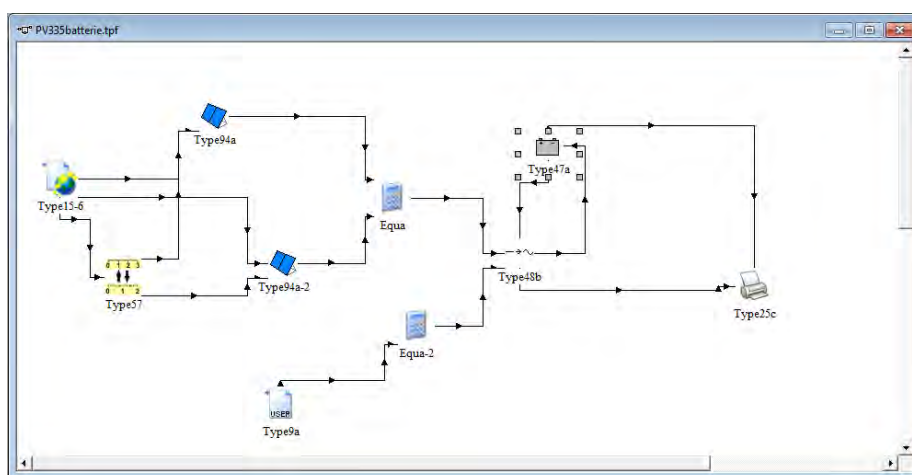
Output:

State of charge: stato di carica

Fractional state of charge: stato di carica come parte dell'intero

Power: potenza scambiata

Power lost during charge: potenza dissipata nel processo di carica



3.2.10 Il modello dell'impianto fotovoltaico con le batterie in Simulation Studio

3.4 Elaborazione dei dati

3.4.1 Fabbisogni termici

L'output di Simulation Studio è costituito da un file contenente i valori ora per ora, nell'intervallo di tempo di un anno, delle temperature dell'aria e dei carichi termici sensibili per ogni zona.

Per prima cosa sono stati calcolati i fabbisogni termici mensili per ogni zona climatizzata, distinti fra il regime di riscaldamento e di raffrescamento:

$$E_{Hj} = \sum_{i=1}^n Q_{Hi,j} \quad E_{Cj} = \sum_{i=1}^n Q_{Ci,j}$$

dove:

- E_{Hj} e E_{Cj} sono i fabbisogni termici mensili, rispettivamente per il riscaldamento e per il raffrescamento, per la j-esima zona [kWh]
- n è il numero di giorni del mese
- $Q_{Hi,j}$ e $Q_{Ci,j}$ sono i fabbisogni termici orari, rispettivamente per il riscaldamento e per il raffrescamento, per la j-esima zona [W]

In questo modo è possibile stimare i fabbisogni totali mensili per tutte le zone, quelli annuali per singola zona e quelli totali annui per l'intero edificio.

N.B.: il programma fornisce come output i fabbisogni in kJ/hr, per ottenere i kWh è necessario dividere per 3600.

3.4.2 Portate di progetto

Nel presente lavoro si è ipotizzato un impianto di climatizzazione a tutta aria con pompa di calore, quindi il passo successivo è stato quello di determinare le portate di progetto.

In prima battuta è stato ipotizzato di considerare i bagni a parte, regolati da resistenze elettriche interne alle zone stesse, quindi le portate si riferiscono alle altre zone: soggiorno, cucina, guardaroba e camere.

Si distinguono i casi di raffrescamento e riscaldamento.

Regime di raffrescamento (1/5 - 30/9)

Il sistema di climatizzazione deve garantire delle condizioni ambiente di 26°C e 50% di umidità relativa, le condizioni di immissione in ambiente sono di 16°C e 50%. Si ipotizza un ricambio d'aria pari a 0.5 vol/hr

Ora per ora sono state calcolate le portate necessarie a contrastare i carichi ambiente mediante la:

$$\dot{m}_{ai} = \frac{Q_{Ci}}{c_{pa}(t_{amb} - t_I)}$$

dove:

- $\dot{m}_{ai}$ è la portata di massa dell'i-esima ora [kg/s]
- Q_{Ci} è il carico sensibile dell'i-esima ora [W]
- c_{pa} è il calore specifico dell'aria [J/kgK]
- t_{amb}, t_I sono rispettivamente le temperature dell'aria ambiente e dell'aria nelle condizioni di immissione [°C]

In ipotesi di free cooling è stato imposto che in caso di temperatura esterna minore di 20°C la temperatura di immissione fosse pari alla temperatura esterna, in caso contrario fosse di 16°C.

Successivamente è stata trovata la portata di immissione imponendo la condizione:

$$se \dot{m}_{ai} > \dot{m}_{a,rinnovo} allora \dot{m}_{al} = \dot{m}_{ai}, altrimenti \dot{m}_{al} = \dot{m}_{a,rinnovo}$$

con:

- $\dot{m}_{a,rinnovo}$ portata di rinnovo [kg/s]
- $\dot{m}_{al}$ portata di immissione [kg/s]

Una volta nota la portata di immissione è possibile calcolare la portata di ricircolo mediante la:

$$\dot{m}_{a,ricircolo} = \dot{m}_{al} - \dot{m}_{a,rinnovo}$$

Definite le portate, è stata calcolata l'entalpia dopo la miscelazione fra portata d'aria esterna e portata d'aria di ricircolo con la:

$$h_M = \frac{\dot{m}_{a,rinnovo} h_E + \dot{m}_{a,ricircolo} h_A}{\dot{m}_{al}}$$

dove:

- h_M, h_E, h_A sono le entalpie dell'aria rispettivamente nelle condizioni dopo miscelazione, nelle condizioni esterne e nelle condizioni ambiente

A questo punto è possibile calcolare la potenza frigorifera lato batteria mediante la:

$$q_c = \dot{m}_{aI}(h_M - h_I)$$

dove:

- h_I è l'entalpia dell'aria nelle condizioni di immissione [J/kg]

Regime di riscaldamento (15/10 - 15/4)

Il sistema di climatizzazione deve garantire una temperatura ambiente di 20°C con una temperatura di immissione di 35°C. Si ipotizza un ricambio d'aria pari a 0.5 vol/hr

Ora per ora sono state calcolate le portate necessarie a contrastare i carichi ambiente mediante la:

$$\dot{m}_{ai} = \frac{Q_{Hi}}{c_{pa}(t_I - t_{m,amb})}$$

dove:

- $\dot{m}_{ai}$ è la portata di massa dell'i-esima ora [kg/s]
- Q_{Hi} è il carico sensibile dell'i-esima ora [W]
- c_{pa} è il calore specifico dell'aria [J/kgK]
- $t_{m,amb}, t_I$ sono rispettivamente le temperature media dell'aria ambiente e dell'aria nelle condizioni di immissione [°C]

Analogamente al raffrescamento, è stata trovata la portata di immissione imponendo la condizione:

$$se \dot{m}_{ai} > \dot{m}_{a,rinnovo} allora \dot{m}_{aI} = \dot{m}_{ai}, altrimenti \dot{m}_{aI} = \dot{m}_{a,rinnovo}$$

con:

- $\dot{m}_{a,rinnovo}$ portata di rinnovo [kg/s]
- $\dot{m}_{aI}$ portata di immissione [kg/s]

Una volta nota la portata di immissione è possibile calcolare la portata di ricircolo mediante la:

$$\dot{m}_{a,ricircolo} = \dot{m}_{aI} - \dot{m}_{a,rinnovo}$$

Definite le portate, è stato ipotizzato un recupero di calore con recuperatore avente efficienza del 70%. La temperatura dell'aria dopo il recupero è calcolata con:

$$t_B = \varepsilon(t_A - t_E) + t_E$$

dove:

- ε è l'efficienza del recuperatore
- t_B, t_A, t_E sono le temperature dell'aria rispettivamente dopo il recupero, in ambiente e all'esterno [°C]

Successivamente è stata calcolata l'entalpia dopo la miscelazione fra portata d'aria esterna e portata d'aria di ricircolo con la:

$$h_M = \frac{\dot{m}_{a,rinnovo} h_B + \dot{m}_{a,ricircolo} h_A}{\dot{m}_{aI}}$$

dove:

- h_M, h_B, h_A sono le entalpie dell'aria rispettivamente nelle condizioni dopo miscelazione, nelle condizioni dopo il recupero termico e nelle condizioni ambiente [J/kg]

A questo punto è possibile calcolare la potenza termica lato batteria mediante la:

$$q_H = \dot{m}_{aI} (h_I - h_M)$$

dove:

- h_I è l'entalpia dell'aria nelle condizioni di immissione [J/kg]

3.4.3 La pompa di calore

Per stimare le prestazioni della macchina nelle reali condizioni di funzionamento è stata presa a riferimento una pompa di calore avente EER=3 e COP=4.1. In raffrescamento le temperature di evaporazione e condensazione sono rispettivamente di 3°C e 50°C, mentre in riscaldamento sono di -8°C e 40°C. Con queste temperature sono state calcolate le efficienze di Carnot mediante le:

$$EER_{targa,Carnot} = \frac{T_e}{T_c - T_e} \quad COP_{targa,Carnot} = \frac{T_c}{T_c - T_e}$$

Le temperature di condensazione ed evaporazione, in riscaldamento e in raffrescamento, sono state ipotizzate con le:

$$HEATING \begin{cases} t_e = t_E - 10^\circ C \\ t_c = 42^\circ C \end{cases} \quad COOLING \begin{cases} t_e = t_E + 15^\circ C \\ t_c = 4^\circ C \end{cases}$$

Con queste temperature sono state calcolate le efficienze di Carnot, ora per ora.

Le prestazioni reali sono state stimate con le seguenti:

$$EER = EER_{Carnot} \frac{EER_{targa}}{EER_{targa,Carnot}} \quad COP = COP_{Carnot} \frac{COP_{targa}}{COP_{targa,Carnot}}$$

Una volta note le prestazioni della pompa di calore, sono stati costruiti i profili di carico elettrici da applicare ai diversi scenari.

3.4.4 Altri carichi

Acqua calda sanitaria

Per quanto riguarda l'acqua calda sanitaria, partendo da profili annuali di domanda noti, si è ottenuta la potenza termica oraria nel corso dell'anno con la:

$$q_{ACS} = \dot{m}_{H_2O} c_p \Delta t$$

con:

- q_{ACS} potenza termica [W]
- $\dot{m}_{H_2O}$ portata d'acqua [kg/s]
- c_p calore specifico dell'acqua [J/kgK]
- Δt differenza di temperatura, fissata a 35°C

Una volta noti i profili termici, è stato ipotizzato l'utilizzo di una pompa di calore dedicata avente potenza termica nominale di 1,94 kW e COP pari a 2,8.

Sono stati successivamente costruiti i profili di carico elettrici annuali, uguali per tutti gli scenari di simulazione.

Ventilatori

Per stimare i consumi dei ventilatori si è preso a riferimento una macchina reale, avente campo di funzionamento fra 100 e 1500 m³/hr. In prima approssimazione si è eseguita una linearizzazione dell'andamento della potenza in funzione della portata e si è calcolata la potenza assorbita dai ventilatori, essendo note, ora per ora, le portate di immissione.

Il risultato è stato moltiplicato per due per la presenza sia del ventilatore di mandata che quello di ripresa.

3.4.5 Impianto fotovoltaico

Successivamente è stato ipotizzato un impianto fotovoltaico installato sul tetto dell'edificio. Per massimizzare il numero di pannelli rispetto la superficie a disposizione si è considerato di installare 12 pannelli sulla falda rivolta a sud e 6 pannelli sulla falda rivolta ad est.

In prima battuta si è deciso di considerare due casi: il primo con pannelli solari ad alta efficienza da 335 W_p, il secondo con pannelli standard da 250 W_p.

Un ulteriore ipotesi è stata quella di operare con un inseguitore solare MPPT, che permette di lavorare nei pressi del punto di massima potenza prodotta dal pannello.

La simulazione effettuata con Simulation Studio ha restituito i valori orari della potenza generata dall'impianto fotovoltaico nel corso dell'anno, valori poi convertiti in energia elettrica.

Ora per ora è stato effettuato un bilancio dell'energia prodotta e dell'energia richiesta dai carichi:

$$\Delta E_i = E_{richiesta,i} - E_{prodotta,i}$$

con:

- ΔE_i differenza di energia nell'i-esima ora [kWh]
- $E_{richiesta,i}$ energia richiesta dai carichi nell'i-esima ora [kWh]
- $E_{prodotta,i}$ energia prodotta dall'impianto nell'i-esima ora [kWh]

Come è ovvio, per la maggior parte delle ore si ha un bilancio negativo, in quanto l'impianto non produce energia nelle ore notturne o ne produce in quantità limitata nei periodi di bassa solarizzazione. Ciò significa che in queste ore l'energia deve essere prelevata da rete.

Nelle ore, invece, in cui si ha un bilancio positivo, questo surplus di energia può essere riversato nella rete nazionale.

Successivamente è stato calcolato l'autoconsumo orario con la seguente condizione:

$$se E_{venduta,i} > 0 allora E_{auto,i} = E_{richiesta,i} altrimenti E_{auto,i} = E_{prodotta,i}$$

dove:

- $E_{venduta,i}$ è l'energia riversata in rete nella i-esima ora [kWh]
- $E_{auto,i}$ è l'autoconsumo dell'i-esima ora [kWh]

Una volta noti i valori orari di questi parametri è stato possibile determinare i bilanci mensili ed annuali.

In particolare sono stati calcolati il bilancio energetico fra energia prodotta e consumata, la percentuale di energia riversata in rete e la percentuale di autoconsumo:

$$\Delta E_{\%} = \frac{E_{prodotta} - E_{richiesta}}{E_{richiesta}} 100$$

$$\Delta E_{venduta\%} = \frac{E_{prodotta} - E_{venduta}}{E_{prodotta}} 100$$

$$\Delta E_{autoconsumo\%} = \frac{E_{prodotta} - E_{autoconsumo}}{E_{prodotta}} 100$$

Infine sono stati stimati i fabbisogni annuali e mensili di energia primaria, noti bilanci di energia elettrica. La quota di energia primaria, tuttavia, non è tutta l'energia prelevata da rete. Infatti, l'energia in rete è formata da una quota parte prodotta nelle centrali tradizionali a combustibili fossili e da una quota parte di energia rinnovabile prodotta da centrali alternative e dai singoli impianti che la riversano in rete a loro volta. Questa quota parte è fissata al 31,48%.

Si è quindi stimata l'energia rinnovabile richiesta dall'edificio come:

$$E_{rinnovabile da rete} = E_{elettrica da rete} \cdot 0,3148$$

Successivamente si è ricavata l'energia primaria mediante la seguente, con fattore di conversione pari a 2,17:

$$E_{primaria} = (E_{elettrica da rete} - E_{rinnovabile da rete}) \cdot 2,17$$

In seguito sono stati calcolati i fabbisogni specifici di energia elettrica e primaria:

$$Q_{elettrica} = \frac{E_{richiesta}}{S_u} \quad Q_{primaria} = \frac{E_{primaria}}{S_u}$$

con:

- S_u superficie utile climatizzata [m²]

Infine sono stati stimati i bilanci economici:

$$C_a = c_a E_{elettrica da rete} \quad C_v = c_v E_{venduta}$$

dove:

- C_a , C_v sono rispettivamente i costi totali d'acquisto e di vendita [€/anno]
- c_a , c_v sono rispettivamente i costi specifici d'acquisto e di vendita [€/kWh]

Le ultime simulazioni sono state effettuate considerando un impianto fotovoltaico con sistema di stoccaggio a batterie Pb-acido da 21 kWh di capacità, regolato da un sistema con inverter e regolatore di carica MPPT, con monitoraggio dello stato di carica.

Le simulazioni hanno fornito i valori orari della potenza fornita dai pannelli fotovoltaici, della potenza da o verso le batterie, della potenza ai carichi, di quella prelevata da rete e di quella in eccesso, che si è supposto fosse riversata in rete.

È stato quindi possibile effettuare dei bilanci, ottenendo i valori annuali delle energie elettriche in gioco:

$$E_{prodotta} = \sum_i E_{prodotta,i}$$

$$E_{autoconsumo} = \sum_i E_{carichi,i}$$

$$E_{da\ rete} = \sum_i E_{da\ rete,i}$$

$$E_{venduta} = \sum_i E_{in\ eccesso,i}$$

dove:

- $E_{prodotta}$, $E_{prodotta,i}$ sono rispettivamente l'energia elettrica totale e oraria prodotta dai pannelli fotovoltaici [kWh]
- $E_{autoconsumo}$, $E_{carichi,i}$ sono rispettivamente l'energia elettrica autoconsumata nell'anno e l'energia oraria fornita ai carichi dall'impianto [kWh]
- $E_{da\ rete}$, $E_{da\ rete,i}$ sono le energie prelevate da rete, rispettivamente quella totale annuale e quella oraria [kWh]
- $E_{venduta}$, $E_{in\ eccesso,i}$ sono l'energia riversata in rete e l'energia oraria in eccesso [kWh]

Capitolo 4

RISULTATI

In questo capitolo si riportano i risultati delle simulazioni effettuate sull'edificio caso di studio, confrontandoli secondo i vari scenari ipotizzati.

4.1 Fabbisogni termici

I primi risultati delle simulazioni riguardano i fabbisogni termici dell'edificio, calcolati con Simulation Studio. Si ricordano le ipotesi dei diversi scenari simulati:

- scenario 1: distribuzione AC ed elettrodomestici a bassa efficienza
- scenario 2: distribuzione AC ed elettrodomestici ad alta efficienza
- scenario 3: distribuzione mista AC e DC ed elettrodomestici ad alta efficienza

Regime di raffrescamento

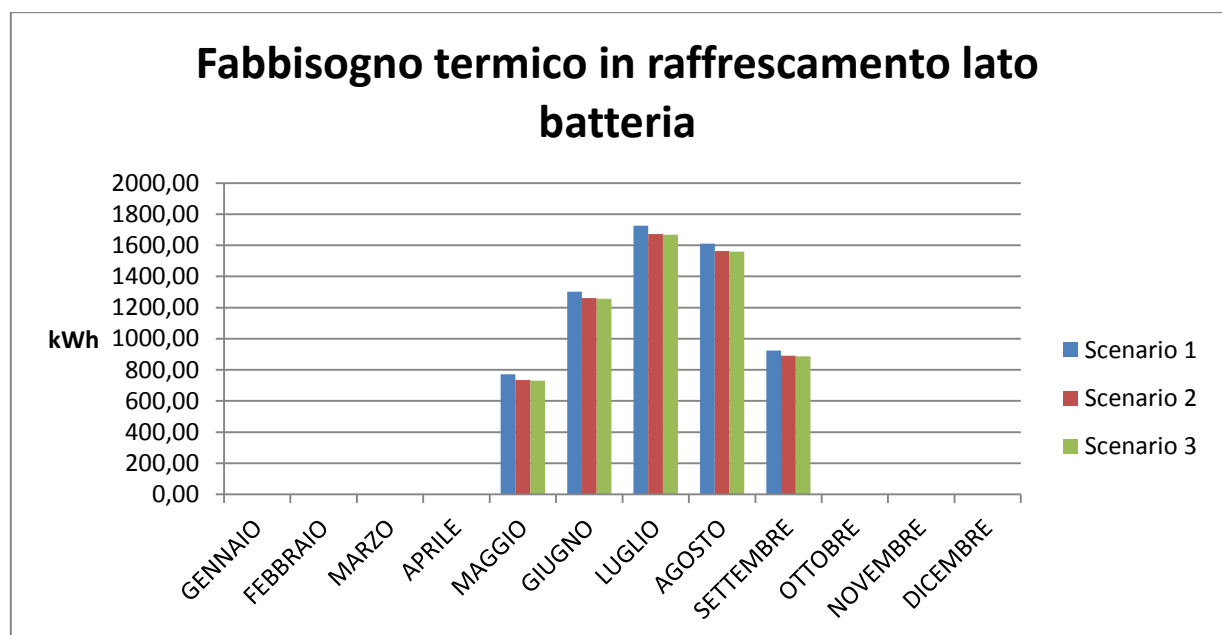
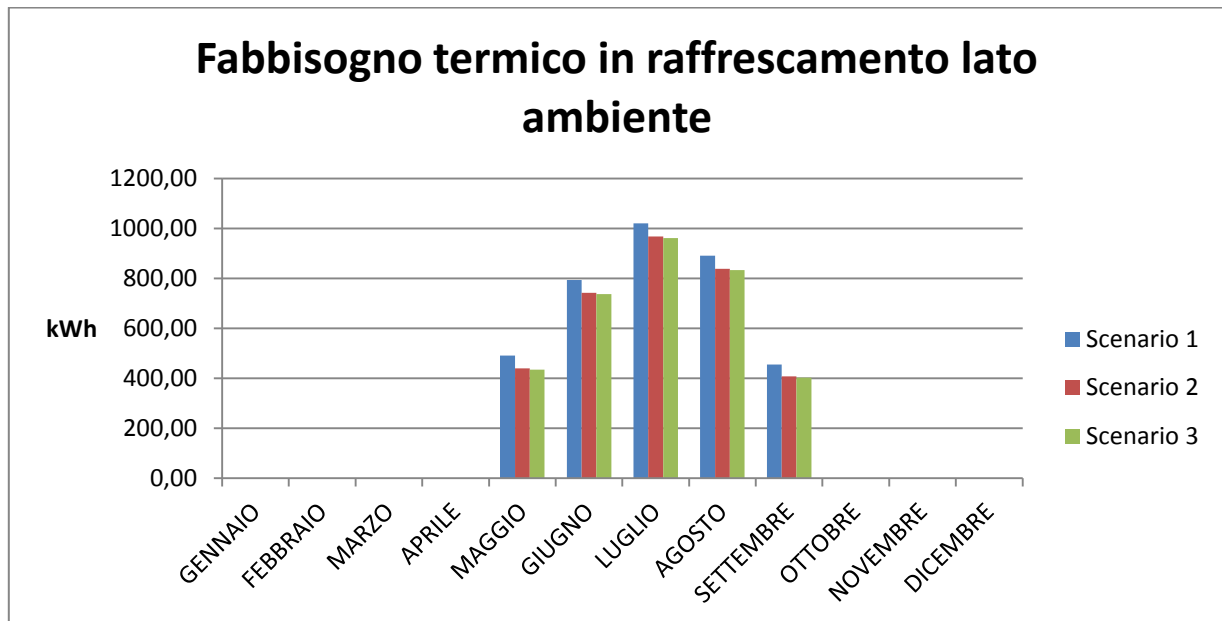
I risultati ottenuti per il raffrescamento rispettano le previsioni. Si può notare come, nei diversi scenari di simulazione vi è una progressiva diminuzione del fabbisogno termico.

Questo si spiega con il fatto che i carichi interni massimi si hanno nel caso dello scenario 1, mentre quelli minimi si hanno per lo scenario 3. Ciò è dovuto al refitting degli apparecchi per il freddo e per l'illuminazione, che portano ad avere una migliore efficienza e quindi minore potenza elettrica dispersa sotto forma di calore.

I fabbisogni annuali per i vari casi sono i seguenti:

	Lato ambiente	Lato batteria
	[kWh/anno]	[kWh/anno]
Scenario 1	3650	6335
Scenario 2	3396	6123
Scenario 3	3369	6102

Sono stati distinti i fabbisogni visti dal lato ambiente e dal lato batteria in unità di trattamento aria. Nei seguenti grafici si riportano i fabbisogni mensili per i tre casi.



Regime di riscaldamento

In prima battuta per il caso invernale si è supposto di separare il fabbisogno dei bagni da quello delle altre zone e trattarlo a parte, come illustrato in seguito.

Per il riscaldamento dei bagni si sono fatte due ipotesi:

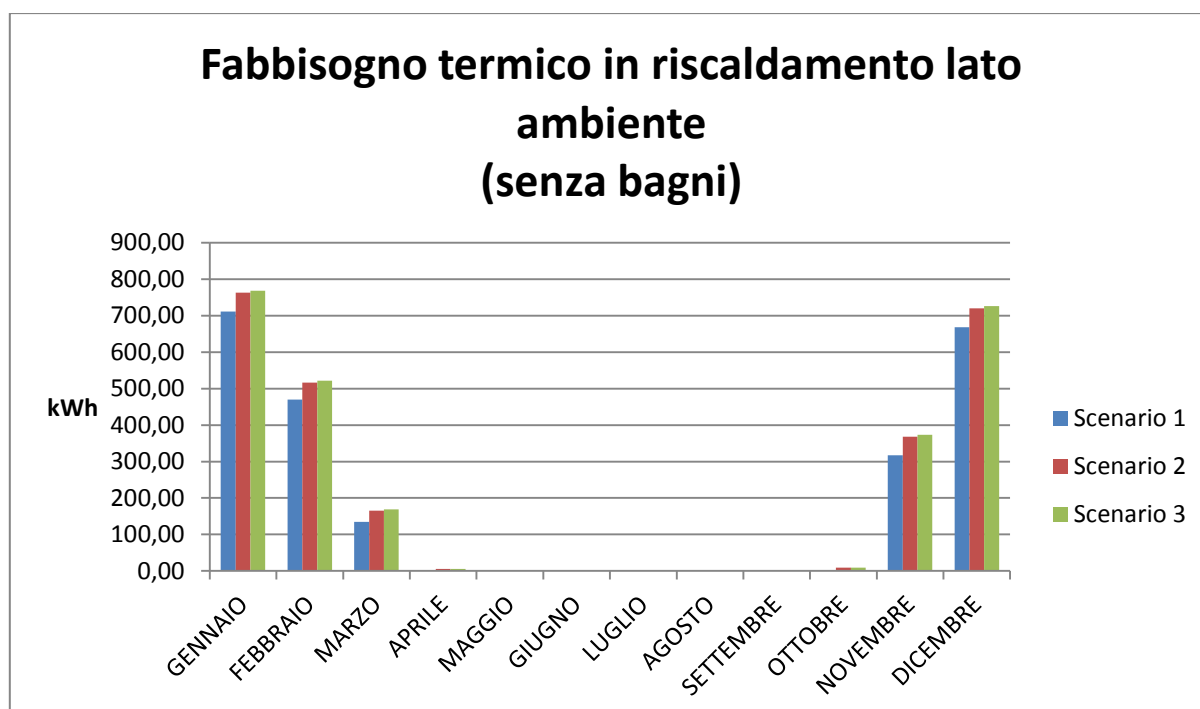
- ipotesi 1: riscaldamento direttamente in zona mediante l'utilizzo di resistenze elettriche. In questo caso il carico termico dei bagni si trasforma totalmente in carico elettrico.
- ipotesi 2: riscaldamento con pompa di calore avente COP pari al COP medio stagionale della macchina principale. In questo caso il carico elettrico sarà pari a quello termico diviso il COP.

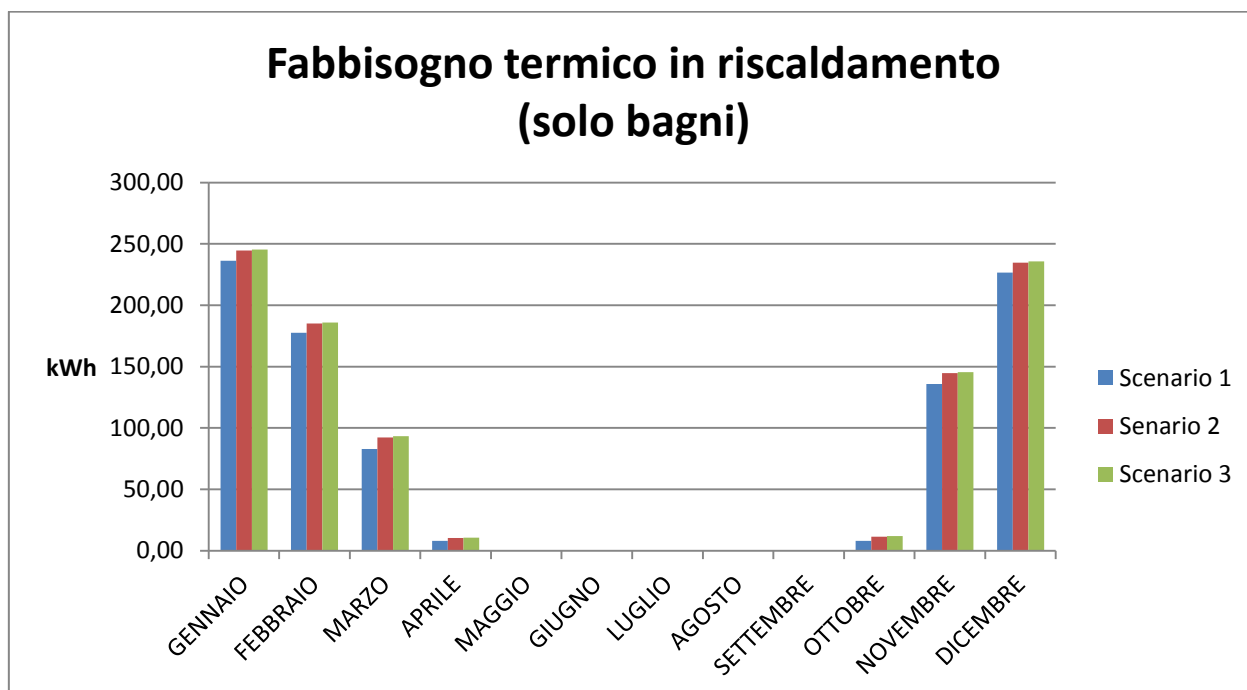
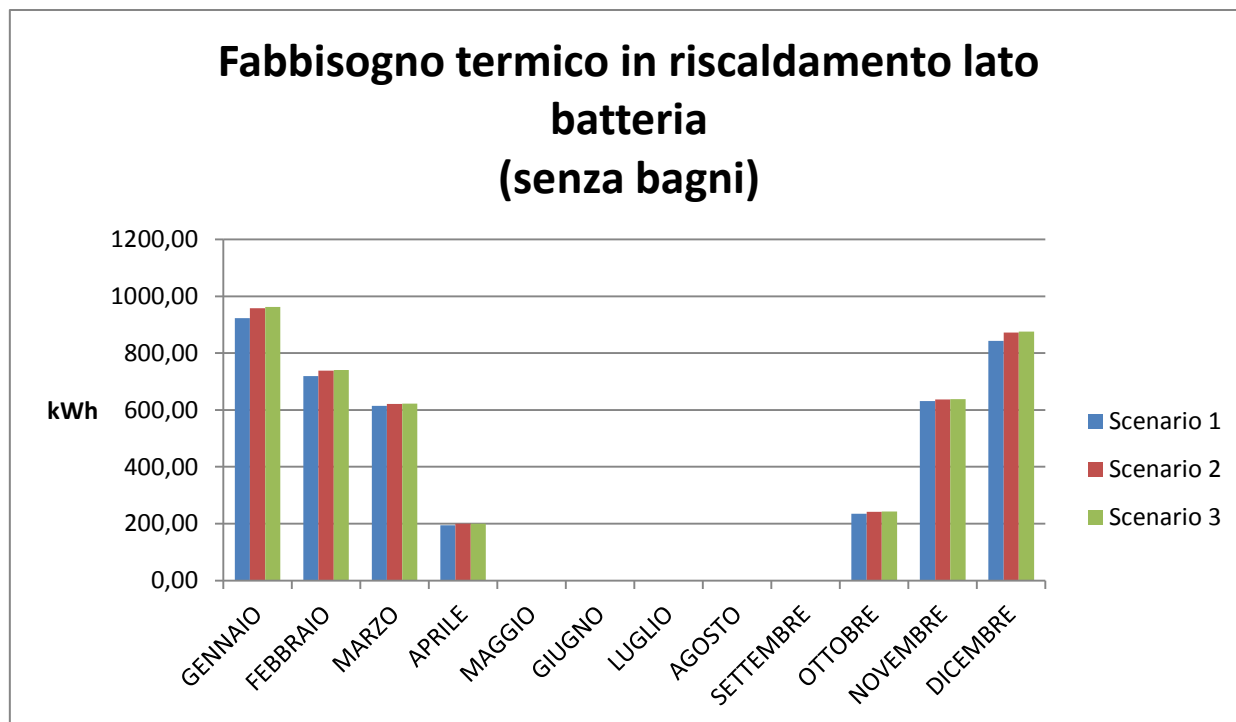
Anche qui i risultati rispecchiano le ipotesi effettuate. I minori carichi termici degli scenari 2 e 3 portano ad avere una richiesta di riscaldamento maggiore rispetto allo scenario 1.

I fabbisogni annuali risultano essere:

	Lato ambiente	Lato batteria	Bagni
	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[kWh/anno]
Scenario 1	2301	4159	875
Scenario 2	2548	4269	923
Scenario 3	2574	4282	928

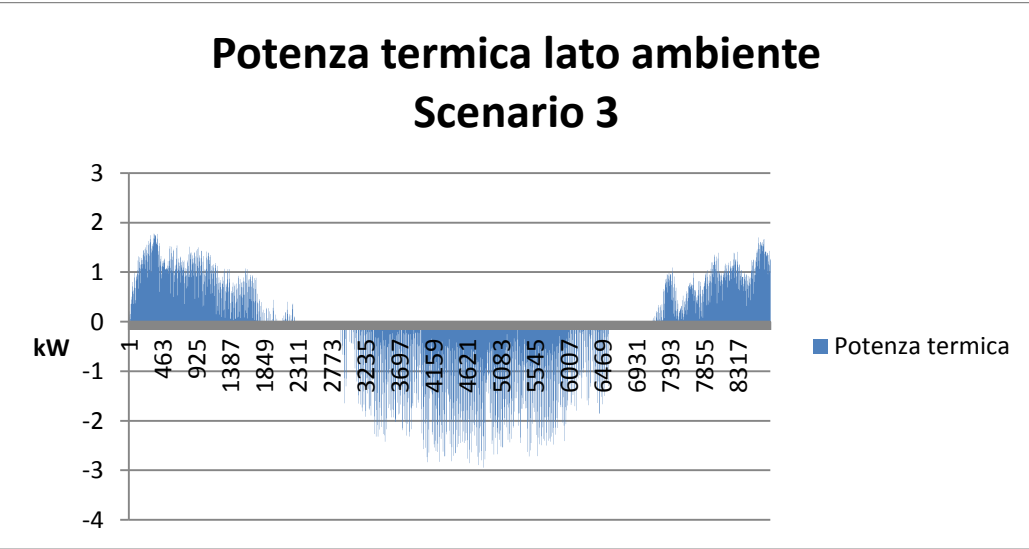
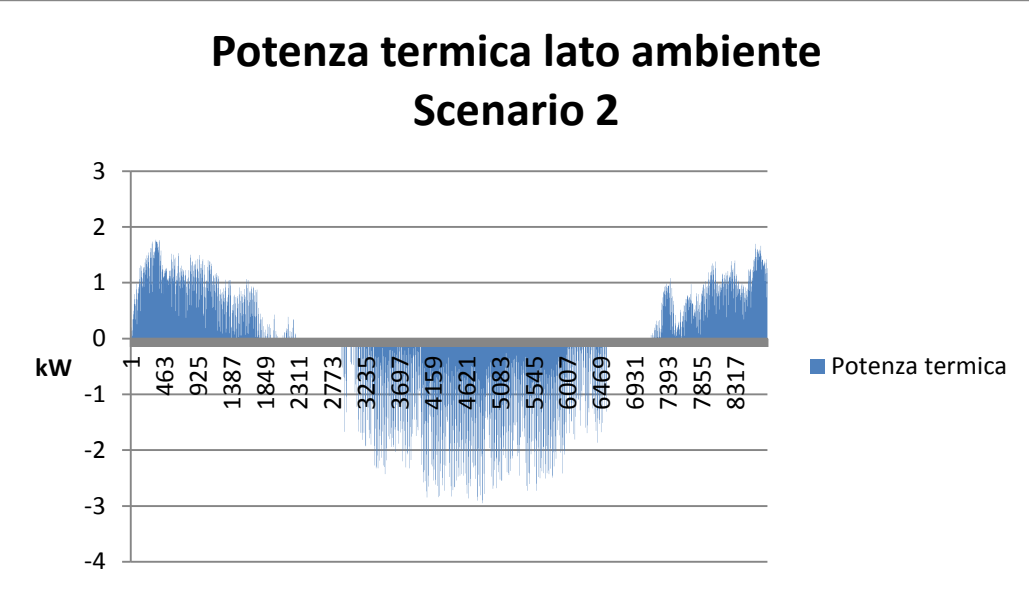
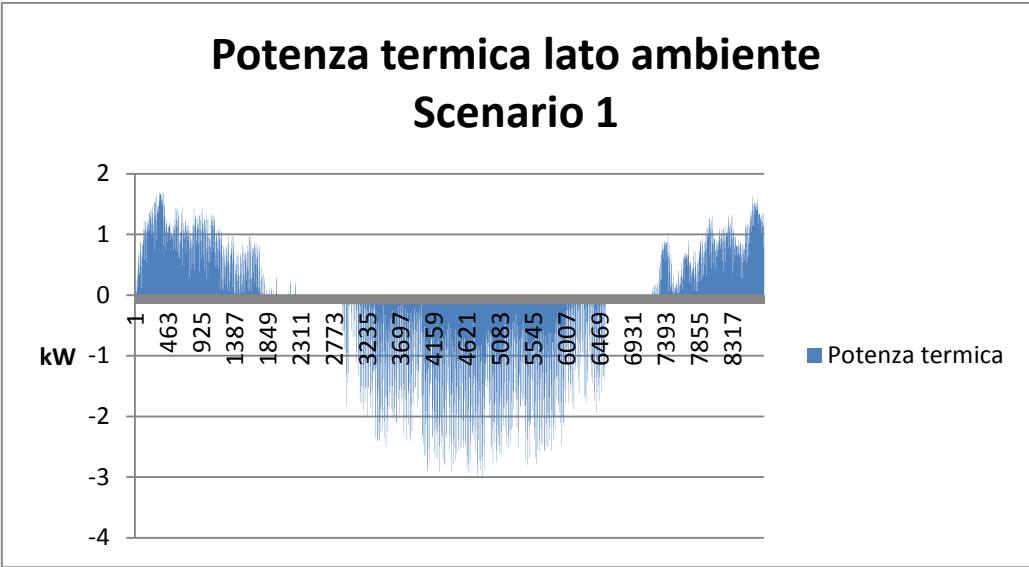
Si riportano i grafici relativi ai vari casi.



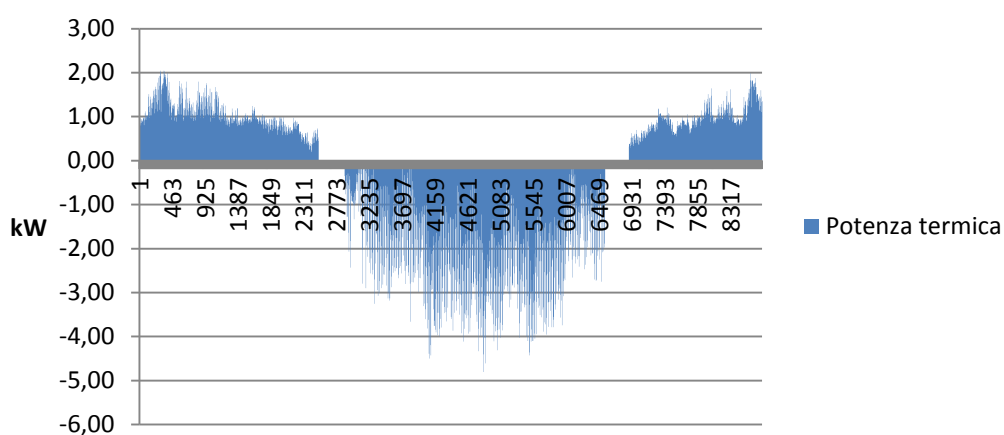


Come si vede, quindi, passare a configurazioni energeticamente più efficienti da un lato porta ad avere una richiesta di freddo minore e dall'altro una richiesta di caldo maggiore. Tuttavia questo è un vantaggio in quanto la generazione di freddo è più problematica rispetto a quella del caldo, soprattutto se si utilizza una pompa di calore, in quanto l'EER è minore del COP, quindi una minore richiesta di kWh termici comporta una minore richiesta di kWh elettrici, che nel caso del raffrescamento risulta essere più vantaggiosa in proporzione, rispetto all'aumento del riscaldamento.

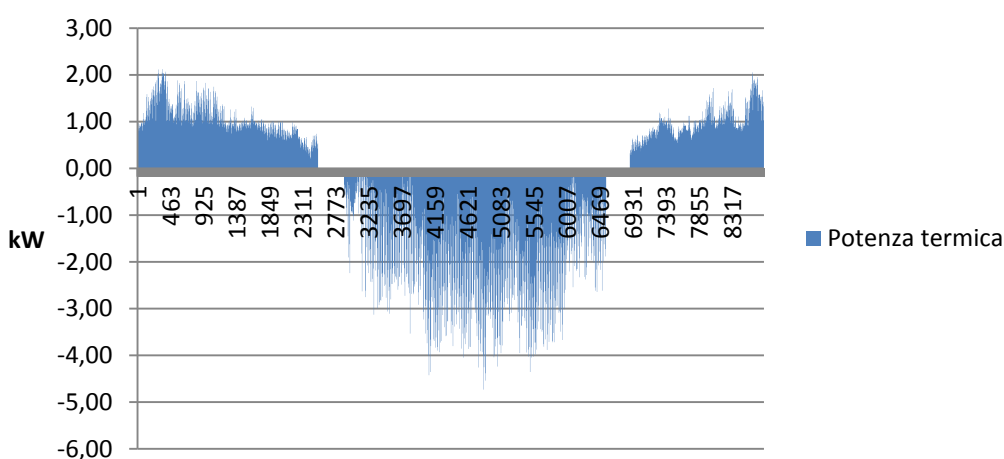
Si riportano, inoltre, i grafici dell'andamento annuo, ora per ora, della potenza termica, per i vari casi, lato ambiente e lato batteria.



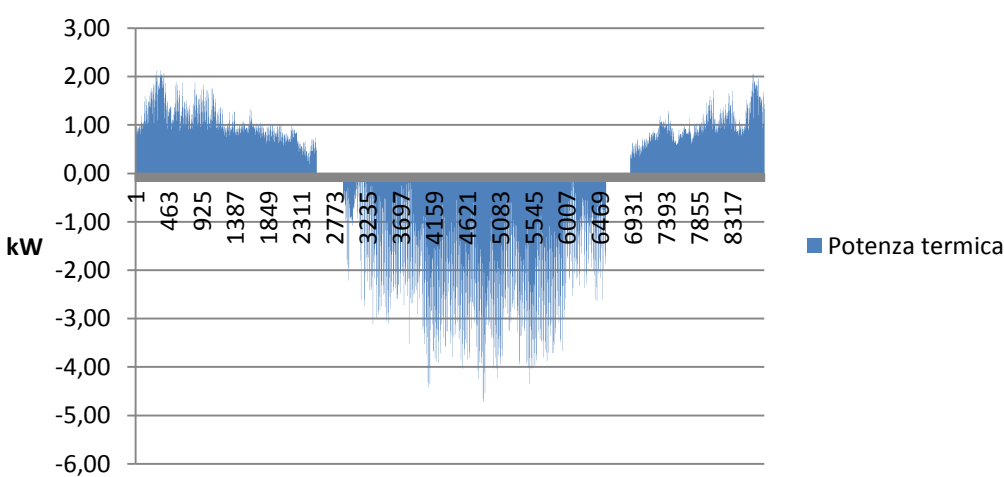
Potenza termica lato batteria Scenario 1



Potenza termica lato batteria Scenario 2



Potenza termica lato batteria Scenario 3



Note le potenze massime lato ambiente, sono state calcolate le portate di progetto per i vari scenari, nel caso di raffrescamento e riscaldamento:

	Potenza massima		Portata massima	
	Raffrescamento	Riscaldamento	Raffrescamento	Riscaldamento
	[kW]	[kW]	[vol/hr]	[vol/hr]
Scenario 1	3,02	1,70	3,12	1,00
Scenario 2	2,95	1,77	3,01	1,04
Scenario 3	2,94	1,78	2,99	1,04

4.2 Fabbisogni elettrici

I fabbisogni elettrici sono stati suddivisi in base al tipo di utenza:

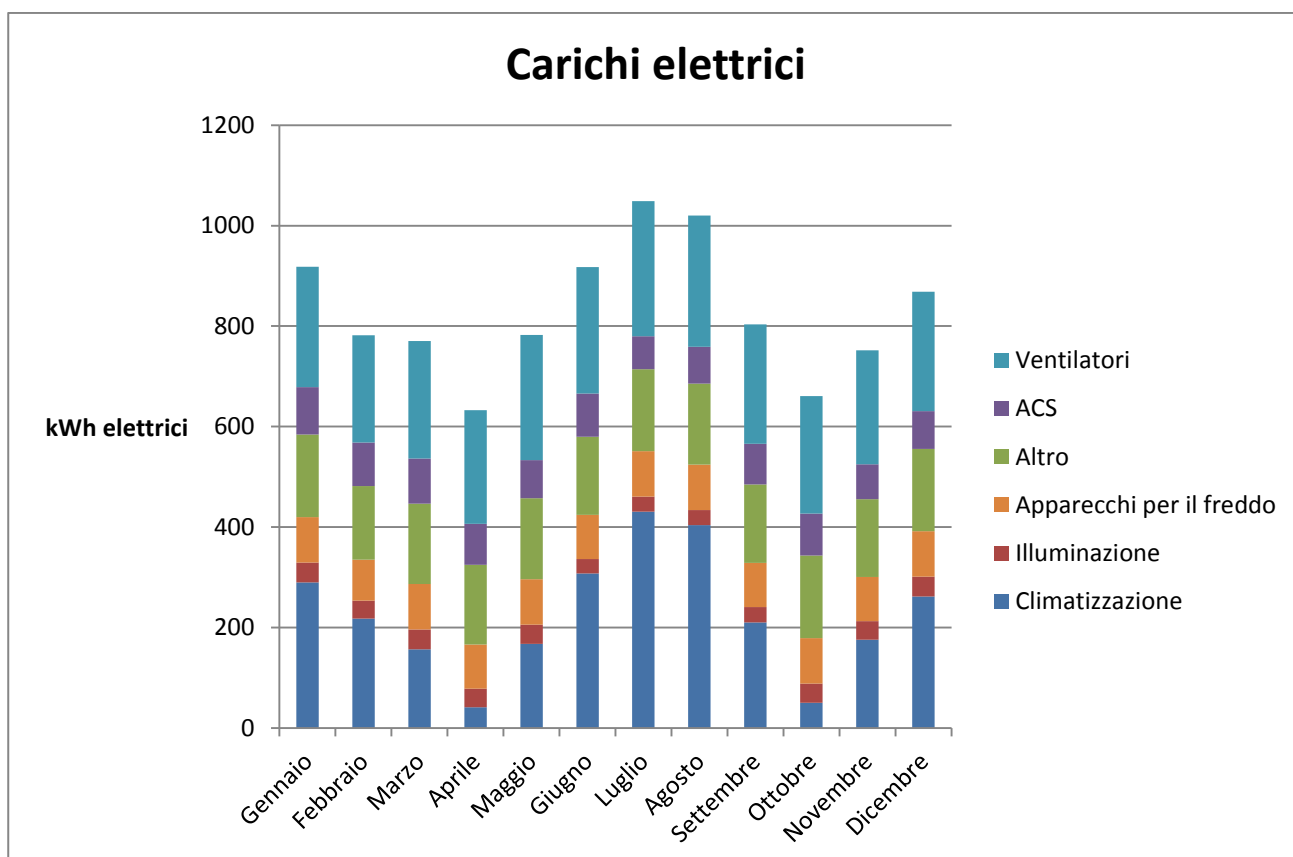
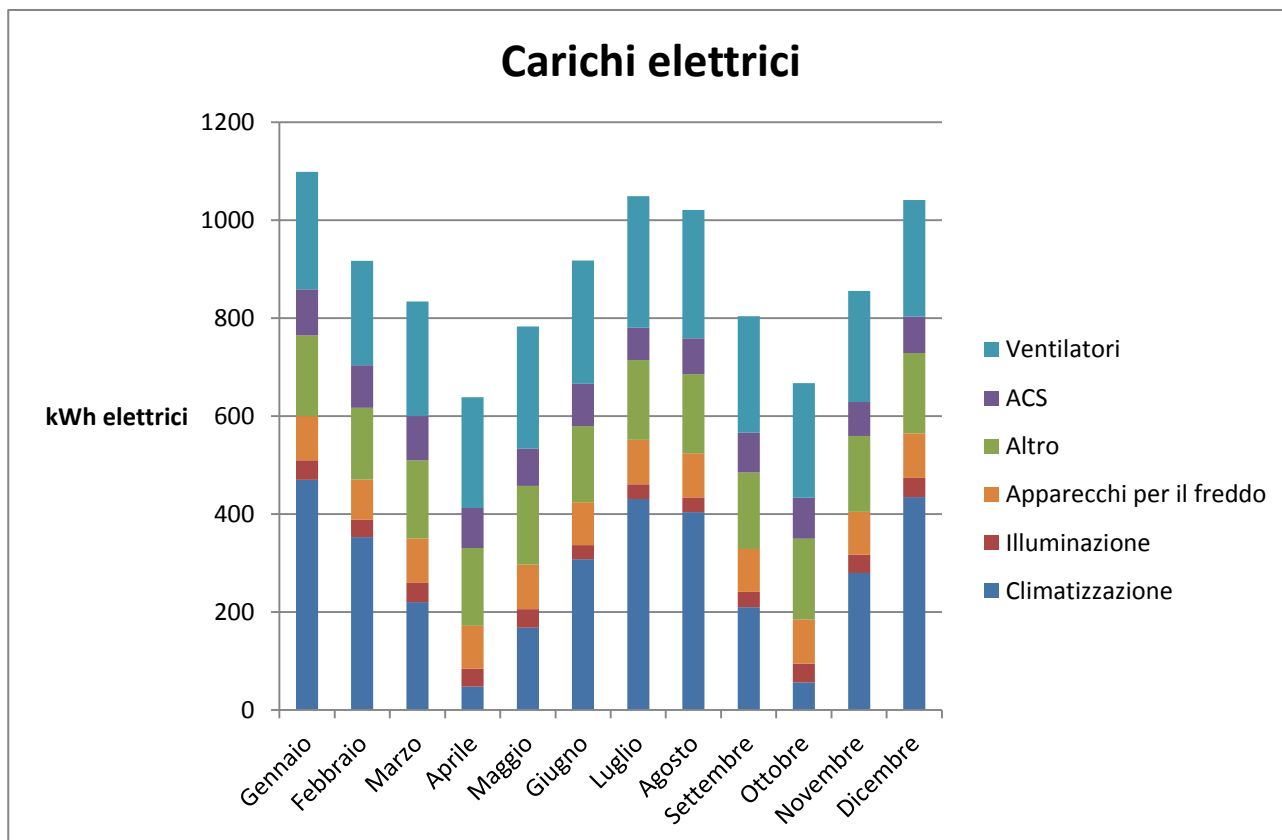
- climatizzazione: comprende i fabbisogni elettrici totali della pompa di calore, in regime invernale ed estivo
- illuminazione: sono i carichi elettrici dovuti al solo impianto luce
- apparecchi per il freddo: comprende i carichi elettrici per frigoriferi e congelatori
- altro: in questa categoria vi sono i consumi elettrici degli altri elettrodomestici principali (lavastoviglie, lavatrice, televisore, pc, video, phon, ferro da stiro, aspirapolvere e forno elettrico)
- ACS: consumi elettrici per la produzione di acqua calda sanitaria mediante pompa di calore dedicata
- ventilatori: carichi elettrici dei ventilatori di mandata e di ripresa dell'impianto di climatizzazione

I consumi elettrici per la climatizzazione, a loro volta sono distinti nei due casi di riscaldamento dei bagni: il primo con resistenze elettriche, il secondo con pompa di calore.

Scenario 1

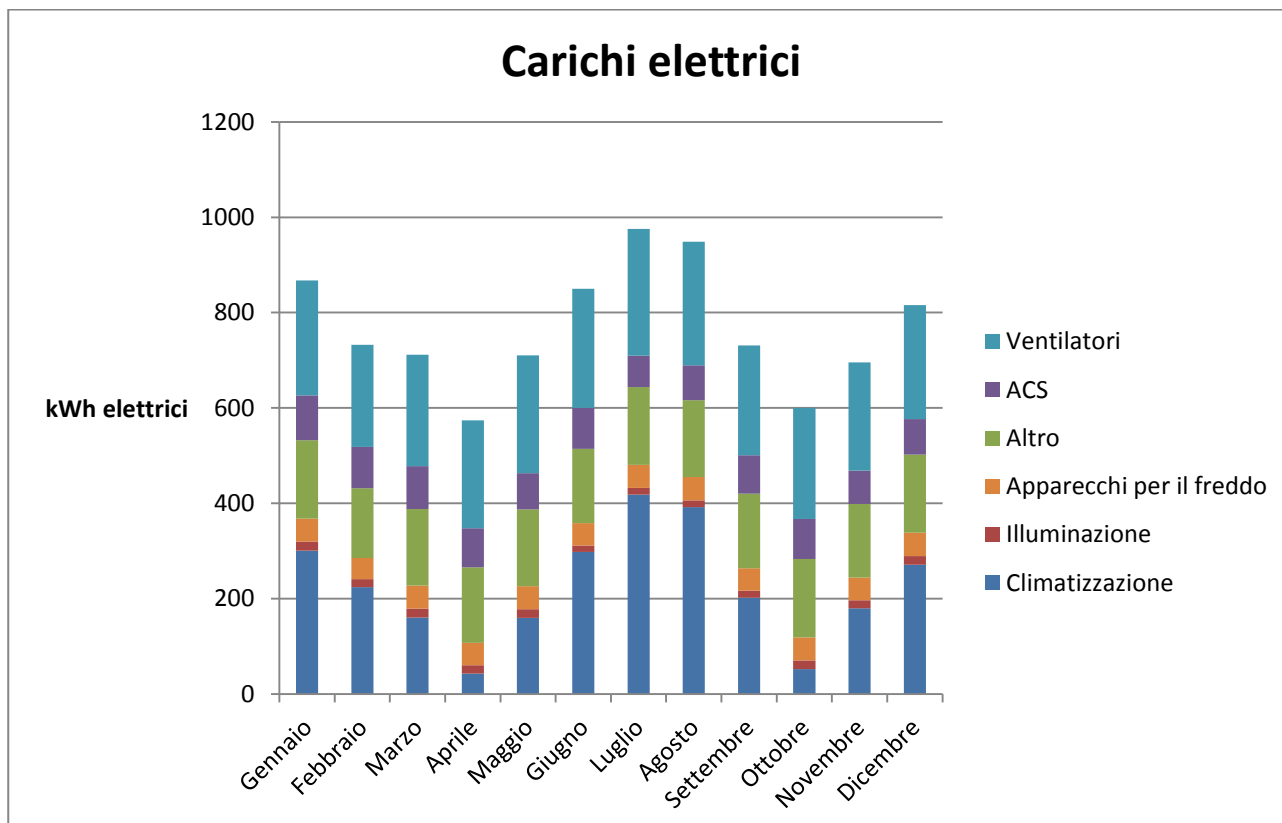
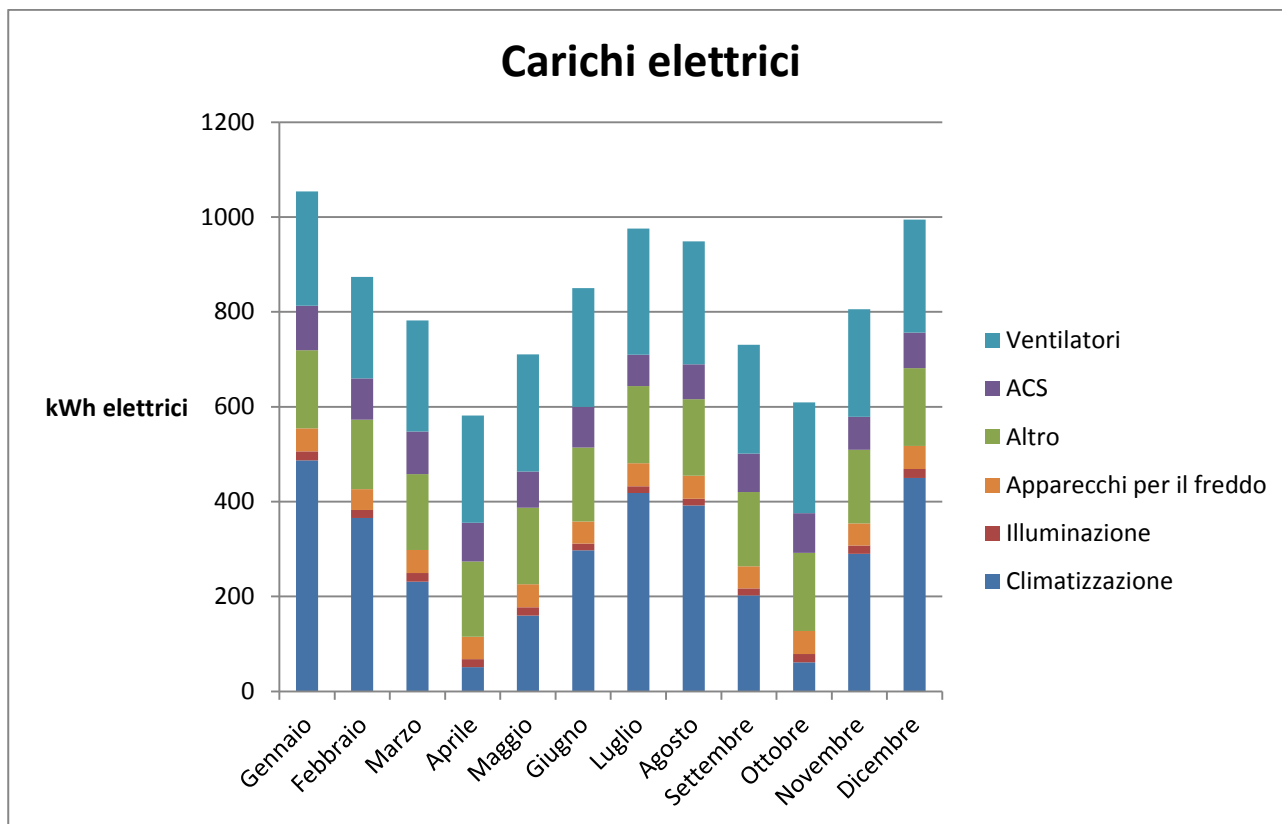
Si riportano i consumi mensili stimati per il primo caso di simulazione.

Il primo istogramma riporta i risultati per il caso delle resistenze elettriche, il secondo per il caso della pompa di calore.



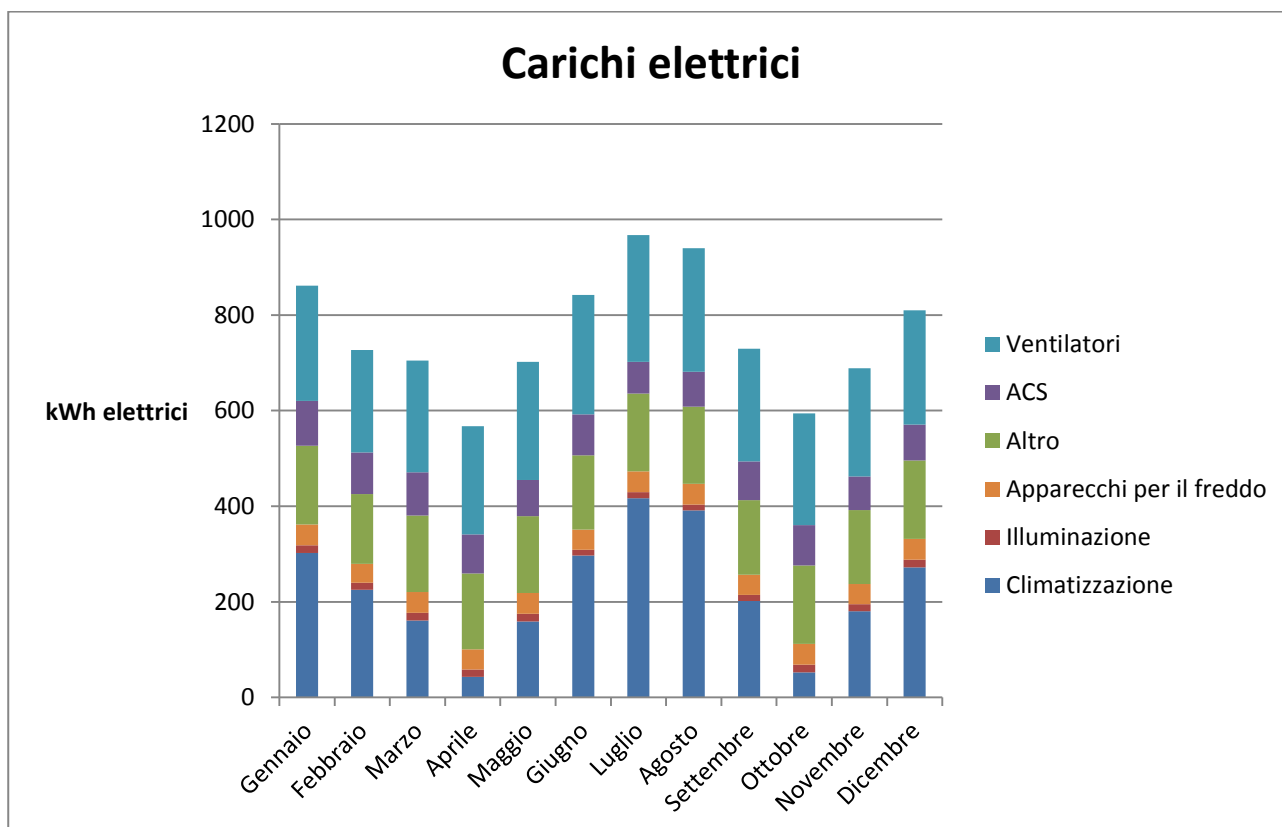
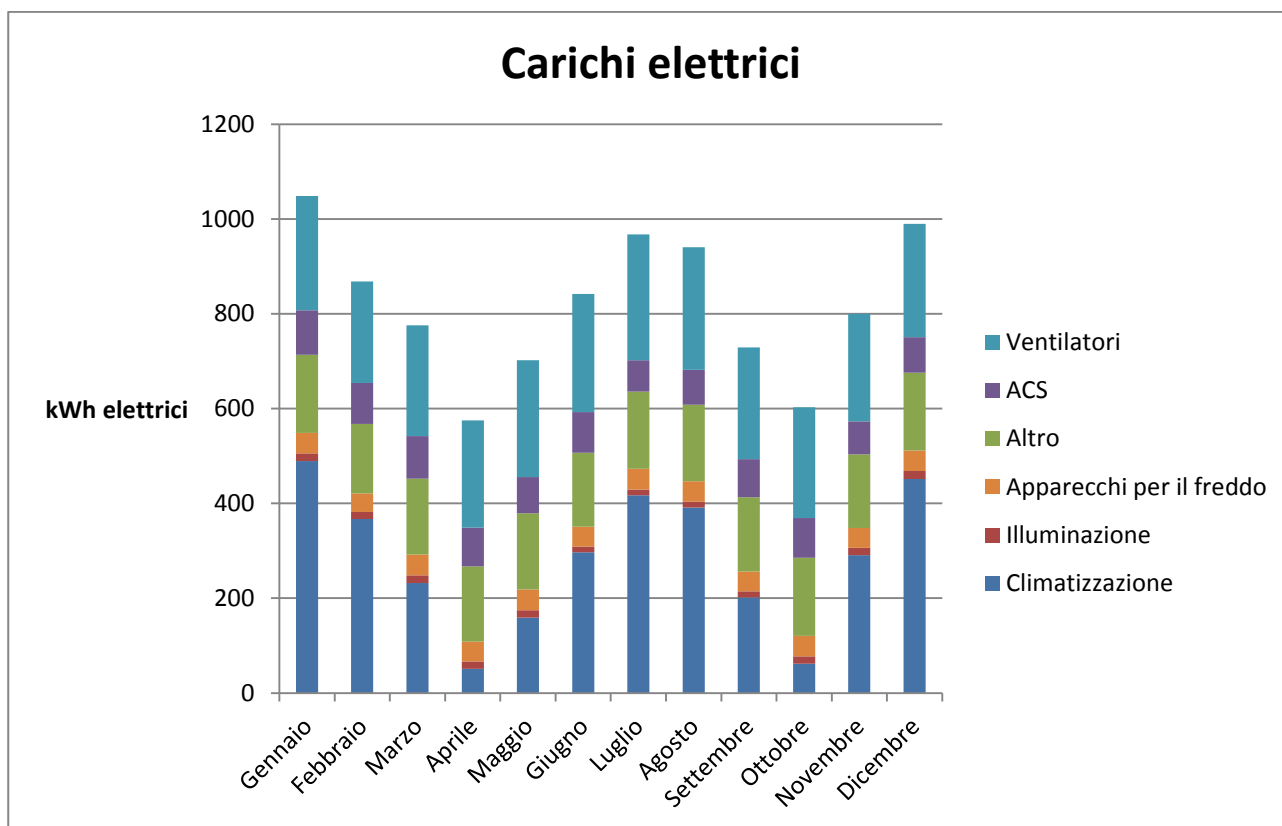
Scenario 2

Analogamente per il primo caso, si riportano i risultati per il secondo caso simulato.



Scenario 3

Infine, i risultati del terzo scenario di simulazione.



I consumi elettrici annuali sono:

	Climatizzazione		Illuminazione	Apparecchi per il freddo	Altro	ACS	Ventilatori
	Resistenze	PdC					
	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[kWh/anno]
Scenario 1	3381	2713	423	1067	1910	963	2880
Scenario 2	3406	2702	199	573	1910	963	2865
Scenario 3	3409	2701	175	512	1910	963	2871

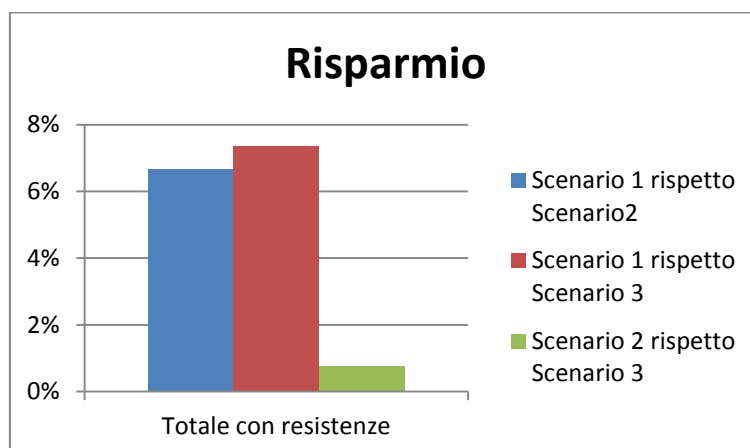
	Totale	Totale
	Resistenze	PdC
	[kWh/anno]	[kWh/anno]
Scenario 1	10624	9956
Scenario 2	9916	9212
Scenario 3	9841	9133

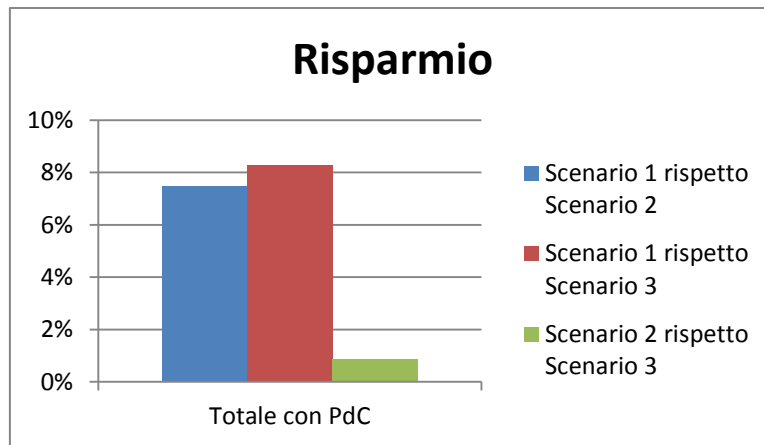
Come si può notare vi è una grande differenza di consumi elettrici per i diversi casi di riscaldamento analizzati: il risparmio di energia elettrica nei tre casi è dell'ordine del 20% in favore del riscaldamento invernale per i bagni con pompa di calore.

Un'altra conclusione che si può trarre è che il consumo elettrico per la climatizzazione non varia di molto nei tre scenari. Questo si può spiegare con il fatto che i carichi interni variano di poco con il refitting dell'impianto di illuminazione e degli apparecchi per il freddo.

Altro punto importante è il carico elettrico dovuto ai ventilatori. Come si nota, rappresenta una quota rilevante del consumo mensile, superiore a quello della pompa di calore stessa.

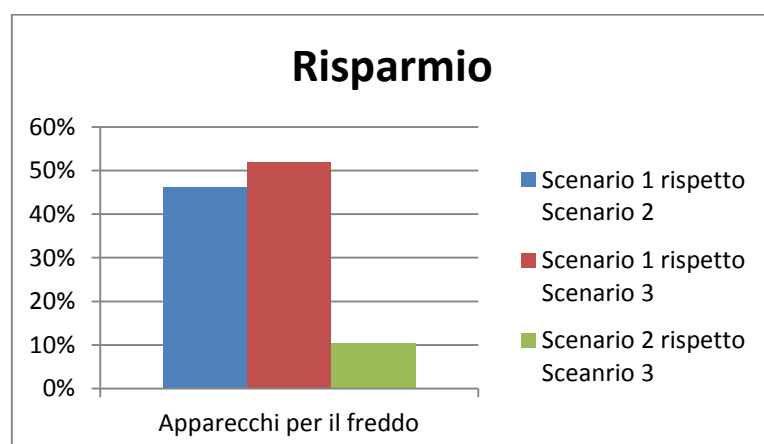
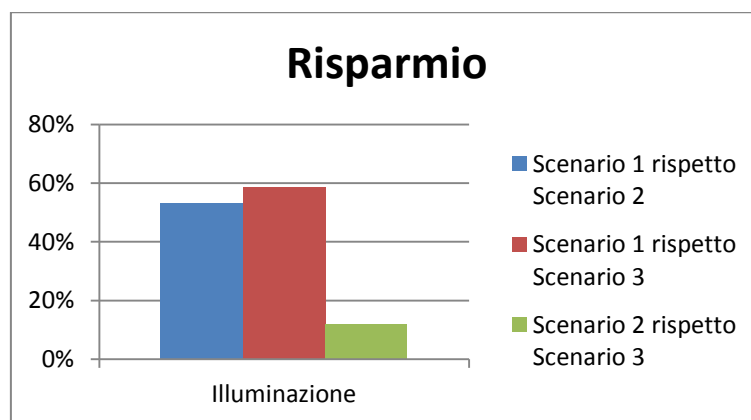
Per quanto riguarda il risparmio totale si ha:





Se ne deduce che il refitting con elettrodomestici ad alta efficienza ha un impatto di circa il 7% sul totale, mentre il passaggio da distribuzione AC a DC di circa l'1% sul totale.

Questo si può spiegare con il fatto che il retrofit è stato eseguito solo sull'impianto di illuminazione e sugli apparecchi frigoriferi. Infatti il risparmio per queste categorie è di ben altro ordine di grandezza.



Se ne deduce che se si sostituissero anche tutti gli altri apparecchi operanti ancora in corrente continua, il risparmio energetico totale aumenterebbe di molto, previsione in linea con gli studi effettuati da altri autori.

Infatti mantenere costanti gli altri carichi per tutti gli scenari di simulazione ha fatto sì che l'impatto sul totale del refitting effettuato fosse limitato.

4.3 Fabbisogni di energia primaria

In questo paragrafo si illustrano i risultati ottenuti considerando i bilanci dell'impianto fotovoltaico installato, nei casi di pannelli da 335 W_p e 250 W_p , sia in termini di energia elettrica acquistata/venduta, sia in termini di energia primaria.

Si suddividono, inoltre, i due casi di riscaldamento, come visto in precedenza.

Impianto con pannelli da 335 W_p

Per il primo caso si sono utilizzati i seguenti parametri:

Potenza pannelli	335	[W_p]
N° pannelli	18	
Potenza installata	6030	[W_p]
Superficie climatizzata	124,13	[m^2]
Quota energia rinnovabile da rete	0,3148	
Fattore moltiplicativo energia primaria	2,17	
Costo d'acquisto	0,29	[€/kWh _e]
Prezzo di vendita	0,1	[€/kWh _e]

I bilanci per il caso di riscaldamento con resistenze ottenuti sono riportati in tabella.

Caso con resistenze elettriche	Fabbisogno energia elettrica	Energia elettrica autoprodotta	Energia elettrica da rete	Energia venduta	Quota di energia rinnovabile da rete	Energia primaria
	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh]
Scenario 1	10624	8570	6445	4392	2029	9584
Scenario 2	9916	8570	5959	4613	1876	8860
Scenario 3	9841	8570	5904	4633	1859	8778

I fabbisogni specifici annuali risultano essere:

Caso con resistenze elettriche	Fabbisogno specifico di energia elettrica	Fabbisogno specifico di energia primaria
	[kWh _e /m ² anno]	[kWh/m ² anno]
Scenario 1	85,58	77,21
Scenario 2	79,88	71,38
Scenario 3	79,28	70,72

Mentre il bilancio economico:

Caso con resistenze elettriche	Acquisto	Vendita	Differenza
	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]
Scenario 1	1869	439	-1430
Scenario 2	1728	461	-1267
Scenario 3	1712	463	-1249

Per il caso di riscaldamento con pompa di calore si è ottenuto:

Caso con pdc	Fabbisogno energia elettrica	Energia elettrica autoprodotta	Energia elettrica da rete	Energia venduta	Quota di energia rinnovabile da rete	Energia primaria
	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh]
Scenario 1	9956	8570	5824	4438	1833	8659
Scenario 2	9212	8570	5309	4667	1671	7894
Scenario 3	9133	8570	5252	4689	1653	7809

Caso con pdc	Fabbisogno specifico di energia elettrica	Fabbisogno specifico di energia primaria
	[kWh _e /m ² anno]	[kWh/m ² anno]
Scenario 1	80,21	69,76
Scenario 2	74,21	63,60
Scenario 3	73,58	62,91

Caso con pdc	Acquisto	Vendita	Differenza
	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]
Scenario 1	1689	444	-1245
Scenario 2	1540	467	-1073
Scenario 3	1523	469	-1054

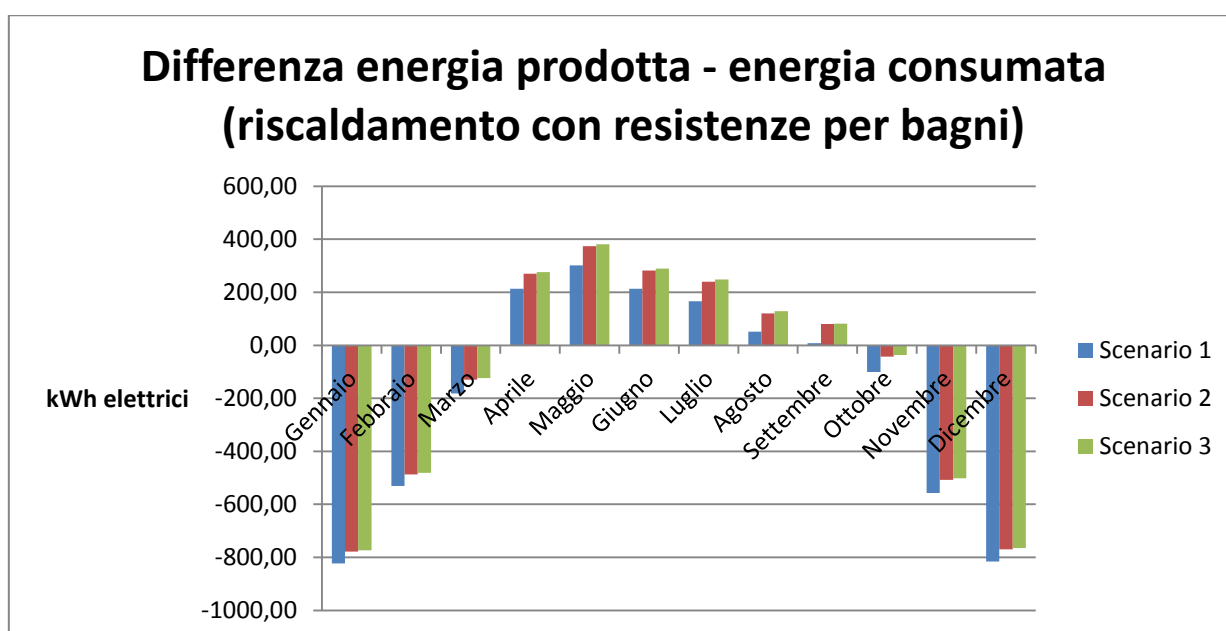
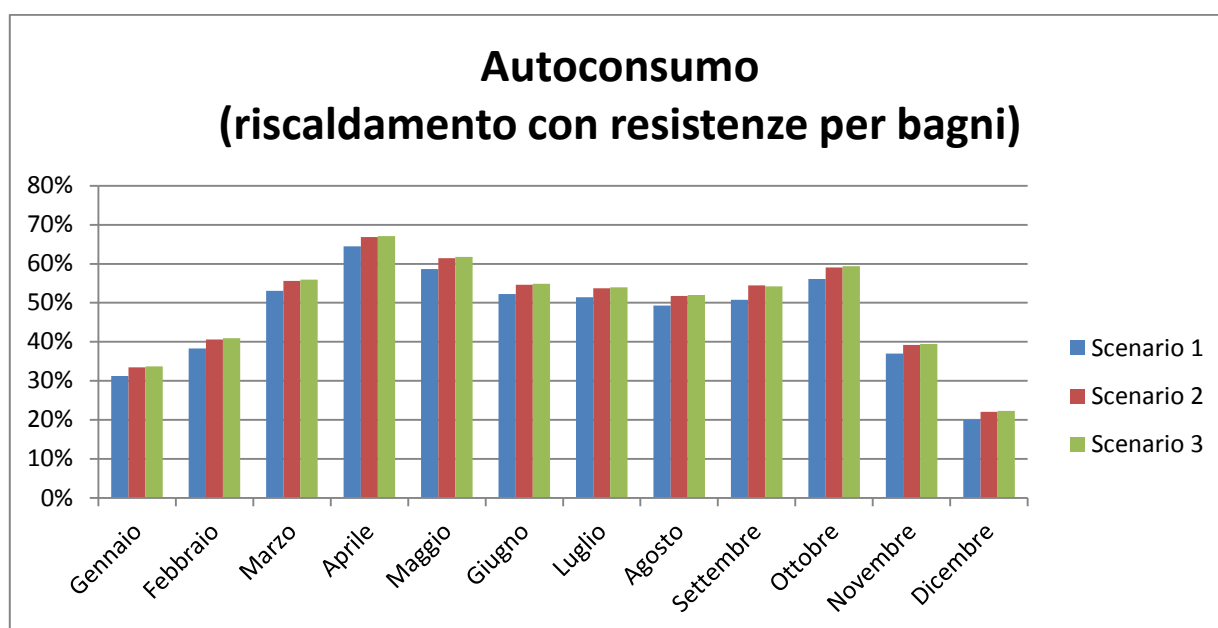
Per quanto riguarda i bilanci mensili si ottiene:

Caso con resistenze elettriche	Fabbisogno specifico di energia elettrica			Fabbisogno specifico di energia primaria		
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	[kWh _e /m ²]	[kWh _e /m ²]	[kWh _e /m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Gennaio	8,85	8,49	8,45	10,89	10,43	10,37
Febbraio	7,39	7,04	7,00	8,12	7,71	7,66
Marzo	6,72	6,30	6,25	6,32	5,90	5,85
Aprile	5,14	4,69	4,63	4,02	3,58	3,53
Maggio	6,31	5,72	5,66	4,00	3,51	3,45
Giugno	7,39	6,85	6,78	4,52	4,03	3,97
Luglio	8,45	7,86	7,79	5,49	4,95	4,89
Agosto	7,89	7,33	7,27	5,48	4,94	4,88
Settembre	6,47	5,89	5,88	4,84	4,33	4,29
Ottobre	5,37	4,91	4,86	5,01	4,52	4,47
Novembre	6,89	6,49	6,44	7,99	7,48	7,42
Dicembre	8,39	8,02	7,97	10,31	9,82	9,76

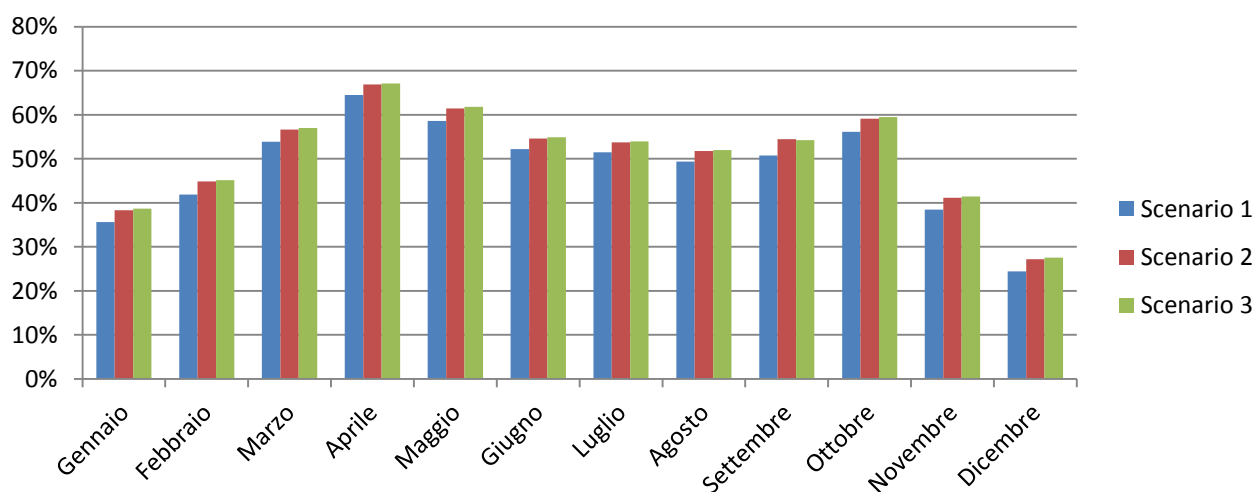
Caso con pdc	Fabbisogno specifico di energia elettrica			Fabbisogno specifico di energia primaria		
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	[kWh _e /m ²]	[kWh _e /m ²]	[kWh _e /m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Gennaio	7,40	6,99	6,94	8,87	8,36	8,30
Febbraio	6,30	5,90	5,85	6,67	6,22	6,16
Marzo	6,21	5,73	5,68	5,62	5,14	5,08
Aprile	5,10	4,62	4,57	3,95	3,49	3,44
Maggio	6,31	5,72	5,66	4,00	3,51	3,45
Giugno	7,39	6,85	6,78	4,52	4,03	3,97
Luglio	8,45	7,86	7,79	5,49	4,95	4,89

Agosto	7,89	7,33	7,27	5,48	4,94	4,88
Settembre	6,47	5,89	5,88	4,84	4,33	4,29
Ottobre	5,32	4,84	4,78	4,94	4,42	4,36
Novembre	6,05	5,60	5,55	6,81	6,23	6,16
Dicembre	6,99	6,57	6,52	8,36	7,81	7,75

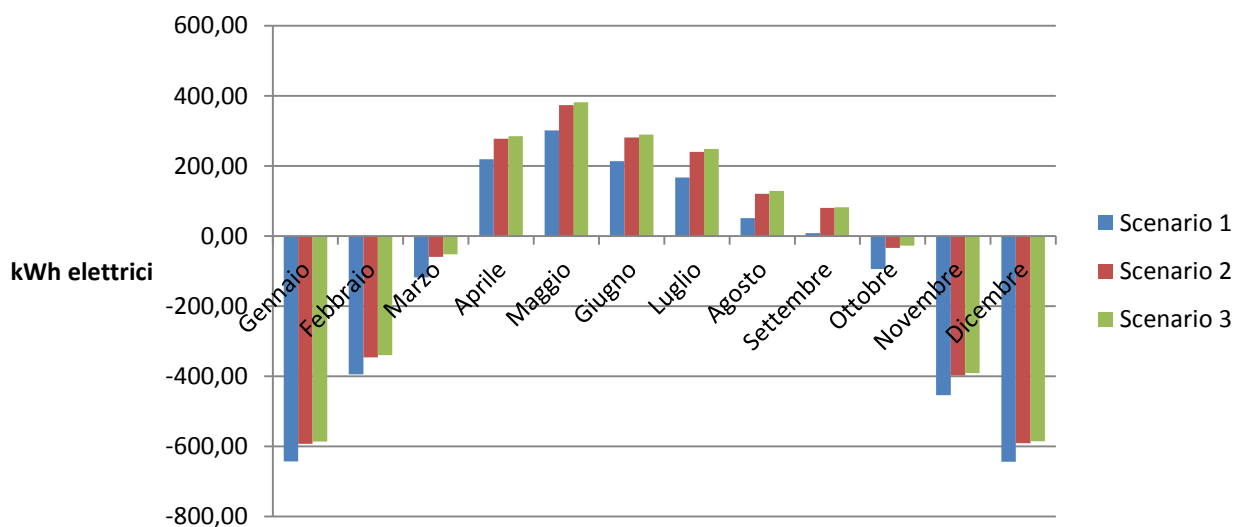
Nei grafici seguenti si riportano l'autoconsumo mensile e il bilancio fra energia prodotta e consumata:



Autoconsumo (riscaldamento con pdc per bagni)



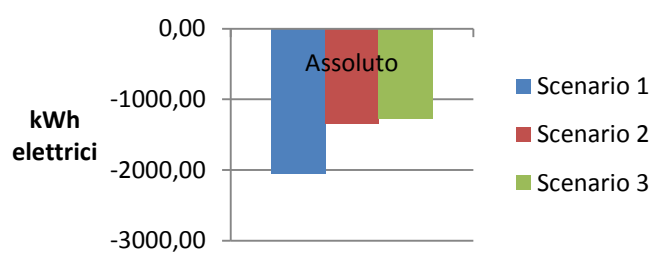
Differenza energia prodotta - energia consumata (riscaldamento con pdc per bagni)



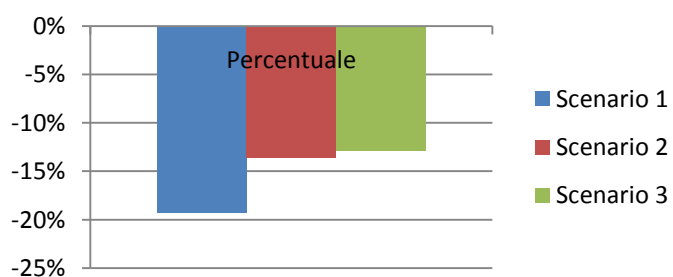
Com'era prevedibile, la maggior quota di autoconsumo, come la maggior quota di energia in surplus si ha per i mesi estivi, nei mesi invernali vi è la maggior parte della richiesta di energia da rete. Lo scenario 3 è quello energeticamente ed economicamente più conveniente.

Nei seguenti grafici si possono trovare i bilanci annuali. Come si può notare in tutti e tre gli scenari non si raggiunge l'autosufficienza energetica. Ciò è dovuto al fatto che l'impianto fotovoltaico non riesce a soddisfare la richiesta in quanto la sua taglia è insufficiente in termini di potenza installata. Tuttavia il suo dimensionamento è strettamente legato alla superficie disponibile sul tetto.

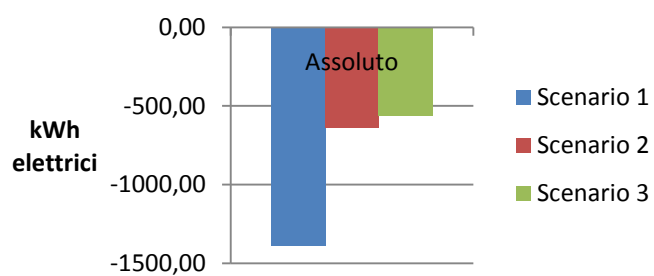
Bilancio annuale (caso resistenze)



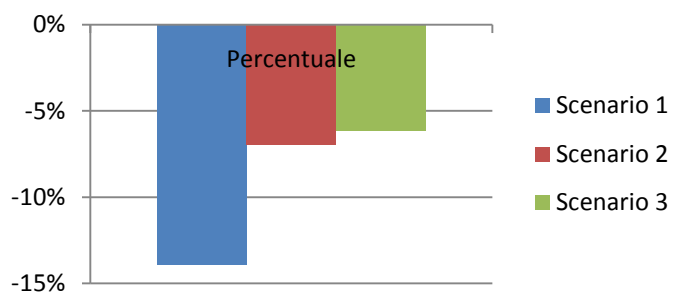
Bilancio annuale (caso resistenze)



Bilancio annuale (caso pdc)



Bilancio annuale (caso pdc)



Impianto con pannelli da 250 W_p

Analogamente, si riportano i parametri per l'impianto con pannelli da 250 W_p:

Potenza pannelli	250	[W _p]
N° pannelli	18	
Potenza installata	4500	[W _p]
Superficie climatizzata	124,13	[m ²]
Quota energia rinnovabile da rete	0,3148	
Fattore moltiplicativo energia primaria	2,17	
Costo d'acquisto	0,29	[€/kWh _e]
Prezzo di vendita	0,1	[€/kWh _e]

I bilanci per il caso con resistenze sono:

Caso con resistenze elettriche	Fabbisogno energia elettrica	Energia elettrica autoprodotta	Energia elettrica da rete	Energia venduta	Quota di energia rinnovabile da rete	Energia primaria
	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh]
Scenario 1	10624	6698	6695	2770	2108	9955
Scenario 2	9916	6698	6188	2970	1948	9201
Scenario 3	9841	6698	6131	2988	1930	9116

Caso con resistenze elettriche	Fabbisogno specifico di energia elettrica	Fabbisogno specifico di energia primaria
	[kWh _e /m ² anno]	[kWh/m ² anno]
Scenario 1	85,58	80,20
Scenario 2	79,88	74,12
Scenario 3	79,28	73,44

Caso con resistenze elettriche	Acquisto	Vendita	Differenza
	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]
Scenario 1	1942	277	-1665
Scenario 2	1795	297	-1498
Scenario 3	1778	299	-1479

Mentre quelli per il caso con pompa di calore per i bagni:

Caso con pdc	Fabbisond energia elettrica	Energia elettrica autoprodotta	Energia elettrica da rete	Energia venduta	Quota di energia rinnovabile da rete	Energia primaria
	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh]
Scenario 1	9956	6698	6062	2804	1908	9014
Scenario 2	9212	6698	5525	3011	1739	8216
Scenario 3	9133	6698	5466	3031	1721	8127

Caso con pdc	Fabbisond specifico di energia elettrica	Fabbisond specifico di energia primaria
	[kWh _e /m ² anno]	[kWh/m ² anno]
Scenario 1	80,21	72,62
Scenario 2	74,21	66,19
Scenario 3	73,58	65,47

Caso con pdc	Acquisto	Vendita	Differenza
	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]
Scenario 1	1758	280	-1478
Scenario 2	1602	301	-1301
Scenario 3	1585	303	-1282

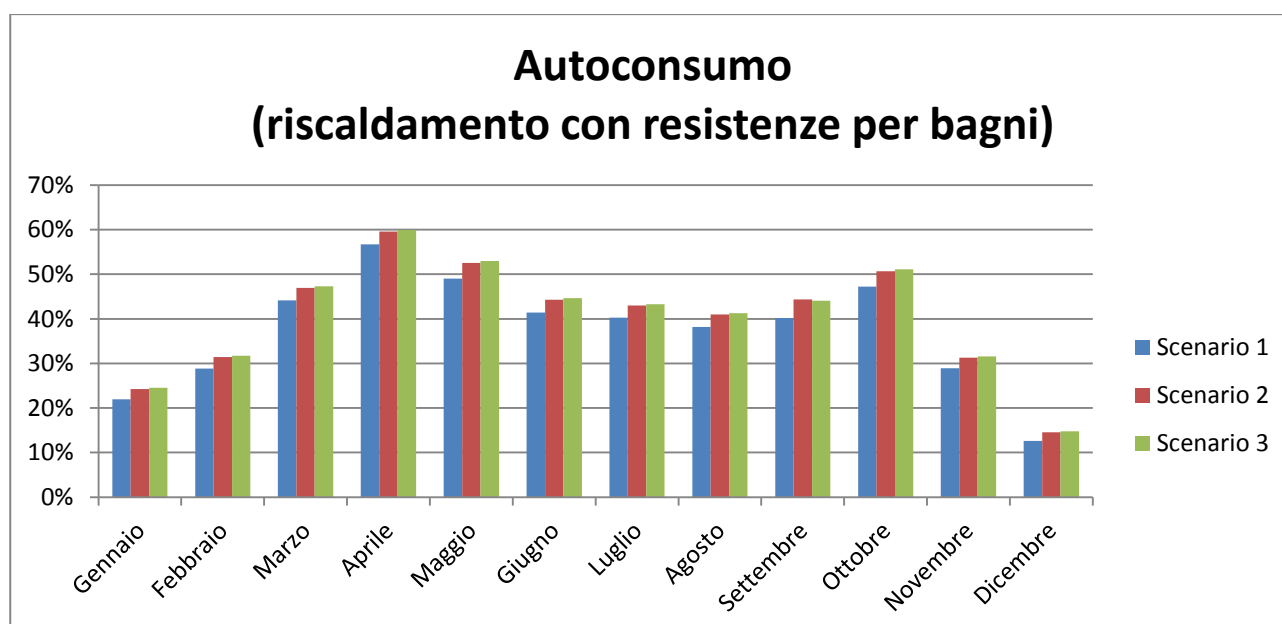
I fabbisogni specifici sono riportati nelle tabelle:

Caso con resistenze elettriche	Fabbisond specifico di energia elettrica			Fabbisond specifico di energia primaria		
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	[kWh _e /m ²]	[kWh _e /m ²]	[kWh _e /m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Gennaio	8,85	8,49	8,45	11,10	10,63	10,58
Febbraio	7,39	7,04	7,00	8,37	7,95	7,90
Marzo	6,72	6,30	6,25	6,55	6,11	6,05
Aprile	5,14	4,69	4,63	4,21	3,75	3,70
Maggio	6,31	5,72	5,66	4,23	3,72	3,66

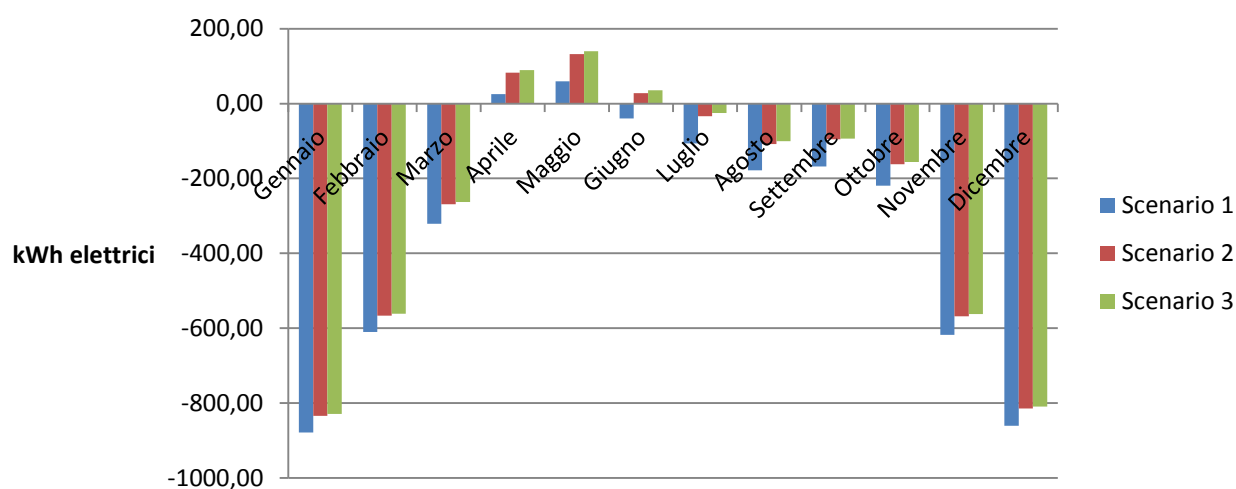
Giugno	7,39	6,85	6,78	4,83	4,32	4,26
Luglio	8,45	7,86	7,79	5,82	5,25	5,19
Agosto	7,89	7,33	7,27	5,80	5,23	5,17
Settembre	6,47	5,89	5,88	5,07	4,52	4,48
Ottobre	5,37	4,91	4,86	5,16	4,66	4,60
Novembre	6,89	6,49	6,44	8,23	7,70	7,64
Dicembre	8,39	8,02	7,97	10,58	10,07	10,01

Caso con pdc	Fabbisogno specifico di energia elettrica			Fabbisogno specifico di energia primaria		
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	[kWh _e /m ²]	[kWh _e /m ²]	[kWh _e /m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Gennaio	7,40	6,99	6,94	9,06	8,53	8,47
Febbraio	6,30	5,90	5,85	6,88	6,41	6,36
Marzo	6,21	5,73	5,68	5,84	5,33	5,27
Aprile	5,10	4,62	4,57	4,13	3,66	3,61
Maggio	6,31	5,72	5,66	4,23	3,72	3,66
Giugno	7,39	6,85	6,78	4,83	4,32	4,26
Luglio	8,45	7,86	7,79	5,82	5,25	5,19
Agosto	7,89	7,33	7,27	5,80	5,23	5,17
Settembre	6,47	5,89	5,88	5,07	4,52	4,48
Ottobre	5,32	4,84	4,78	5,09	4,55	4,50
Novembre	6,05	5,60	5,55	7,02	6,42	6,35
Dicembre	6,99	6,57	6,52	8,60	8,02	7,95

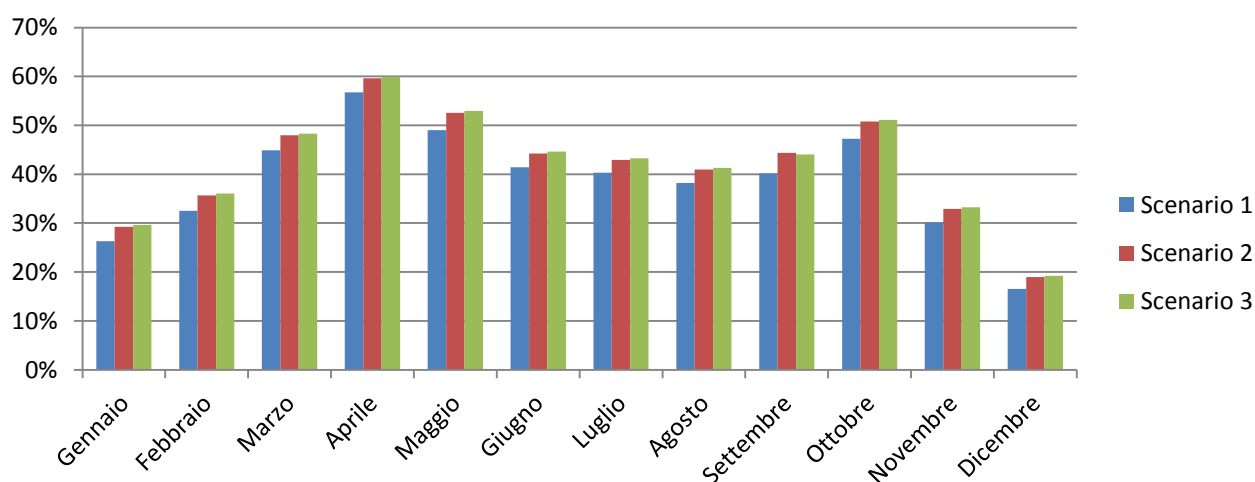
Nei grafici seguenti si riportano l'autoconsumo mensile e il bilancio fra energia prodotta e consumata:



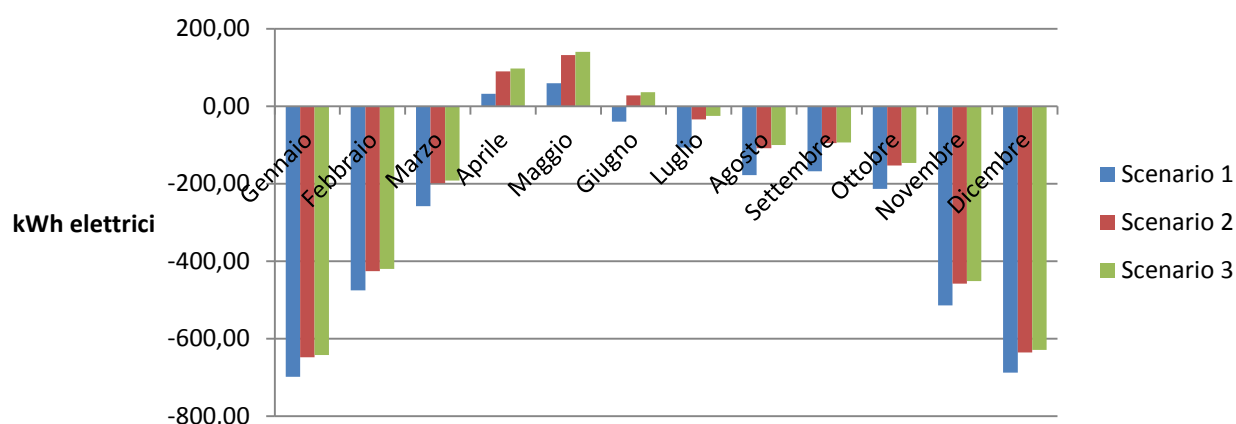
Differenza energia prodotta - energia consumata (riscaldamento con resistenze per bagni)



Autoconsumo (riscaldamento con pdc per bagni)

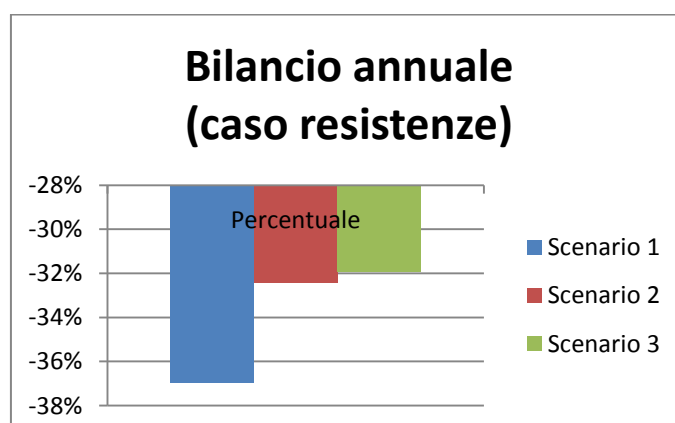
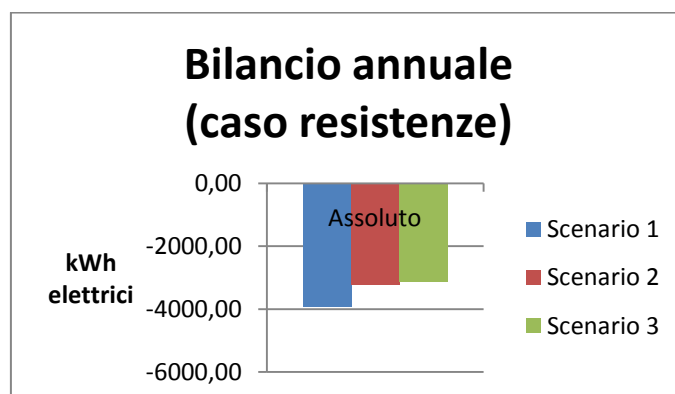


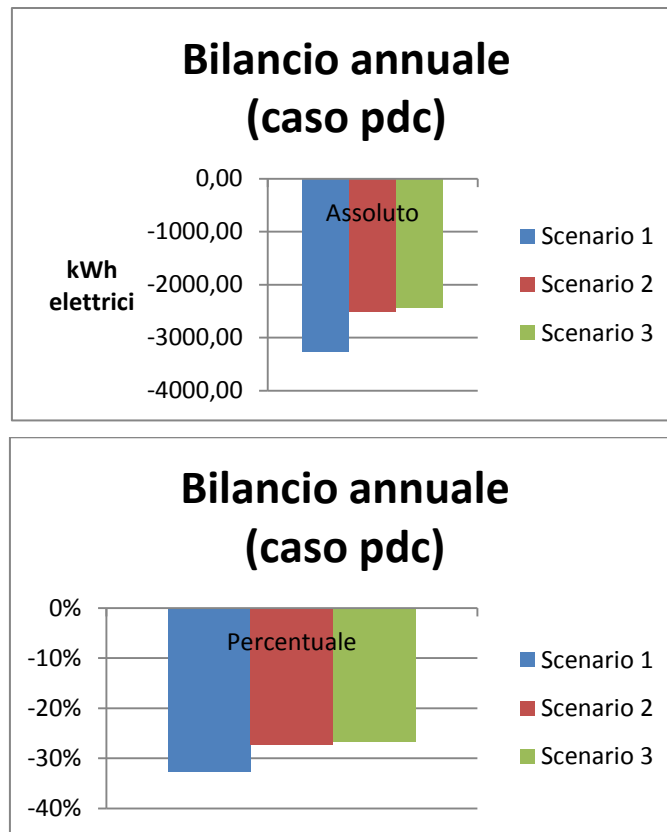
Differenza energia prodotta - energia consumata (riscaldamento con pdc per bagni)



Come si nota, il caso con i pannelli da 250 W_p è altamente inferiore rispetto a quello con pannelli da 335 W_p, in quanto la potenza installata è inferiore di 1,5 kW. Questo porta ad avere una maggiore quota di energia elettrica acquistata da rete. In questo caso sarebbe necessario effettuare un bilancio fra costi di installazione e di esercizio, aspetto che non è stato trattato nel presente lavoro.

Per quanto riguarda i bilanci annuali si ha:





Si riportano, infine, i risultati delle simulazioni effettuate sull'impianto fotovoltaico con sistema di stoccaggio.

Impianto con pannelli da 335 W_p

I parametri della simulazione sono riportati in tabella.

Potenza pannelli	335	[W _p]
N° pannelli	18	
Potenza installata	6030	[W _p]
Superficie climatizzata	124,13	[m ²]
Capacità batterie	874	[Wh]
N° batterie	24	[Wh]
Capacità totale	21	[kWh]
Quota energia rinnovabile da rete	0,3148	
Fattore moltiplicativo energia primaria	2,17	
Costo d'acquisto	0,29	[€/kWh _e]
Prezzo di vendita	0,1	[€/kWh _e]

I risultati sono i seguenti:

Caso con resistenze elettriche	Fabbisogno energia elettrica	Energia elettrica autoprodotta	Energia elettrica da rete	Energia venduta	Autoconsumo	Quota di energia rinnovabile da rete	Energia primaria
	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWh]
Scenario 1	10624	8570	5521	2589	5101	1738	8210
Scenario 2	9916	8570	4964	2742	4951	1563	7381
Scenario 3	9841	8570	4893	2745	4947	1540	7275

Caso con resistenze elettriche	Fabbisogno specifico di energia elettrica	Fabbisogno specifico di energia primaria
	[kWhe/m ² anno]	[kWh/m ² anno]
Scenario 1	85,58	66,14
Scenario 2	79,88	59,46
Scenario 3	79,28	58,61

E il bilancio economico:

Caso con resistenze elettriche	Acquisto	Vendita	Differenza
	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]
Scenario 1	1601	259	-1342
Scenario 2	1440	274	-1165
Scenario 3	1419	275	-1144

Per il caso con pompa di calore per i bagni si ha:

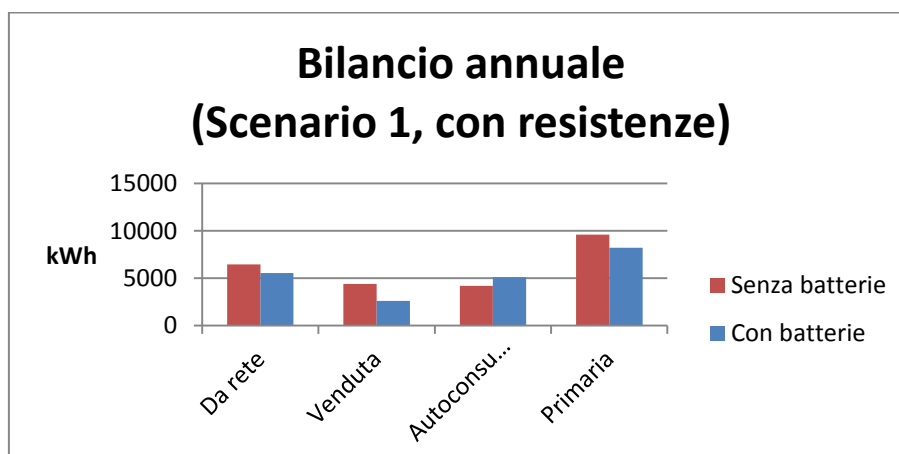
Caso con pdc	Fabbisogno energia elettrica	Energia elettrica autoprodotta	Energia elettrica da rete	Energia venduta	Autoconsumo	Quota di energia rinnovabile da rete	Energia primaria
	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWh]
Scenario 1	9956	8570	4866	2598	5089	1532	7236
Scenario 2	9212	8570	4268	2744	4944	1344	6346
Scenario 3	9133	8570	4202	2758	4930	1323	6248

Caso con pdc	Fabbisogno specifico di energia elettrica	Fabbisogno specifico di energia primaria
	[kWhe/m2 anno]	[kWh/m2 anno]
Scenario 1	80,21	58,29
Scenario 2	74,21	51,12
Scenario 3	73,58	50,34

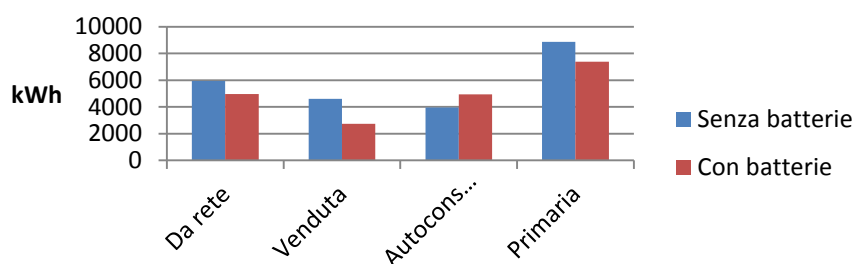
Caso con pdc	Acquisto	Vendita	Differenza
	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]
Scenario 1	1411	260	-1151
Scenario 2	1238	274	-963
Scenario 3	1219	276	-943

Confrontando i risultati ottenuti per i casi di impianto fotovoltaico con e senza sistema di stoccaggio, si nota che nel caso delle batterie, per tutti gli scenari di simulazione, si ottiene una diminuzione dell'energia prelevata da rete e di quella primaria, mentre si nota l'aumento dell'autoconsumo. L'energia venduta cala anch'essa, ma questo è dovuto al fatto che nella simulazione sono state considerate anche le efficienze dell'inverter, del regolatore di carica e delle batterie. In ogni caso, anche riferendosi a caso ideale, aumentando l'autoconsumo, l'energia venduta non può che diminuire, comunque, nonostante questo, si ha un risparmio economico nell'anno. Anche in questo caso è necessario effettuare un confronto costi d'installazione e di esercizio, aspetto non considerato in questa sede.

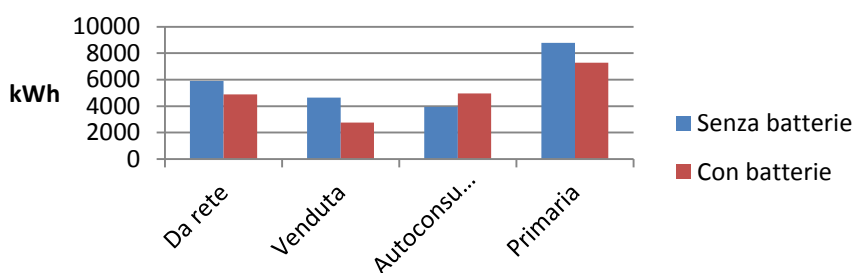
In seguito si riportano i grafici di confronto fra i due casi.



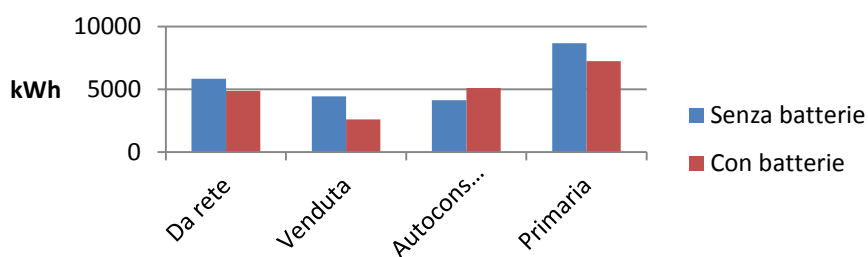
Bilancio annuale (Scenario 2, con resistenze)

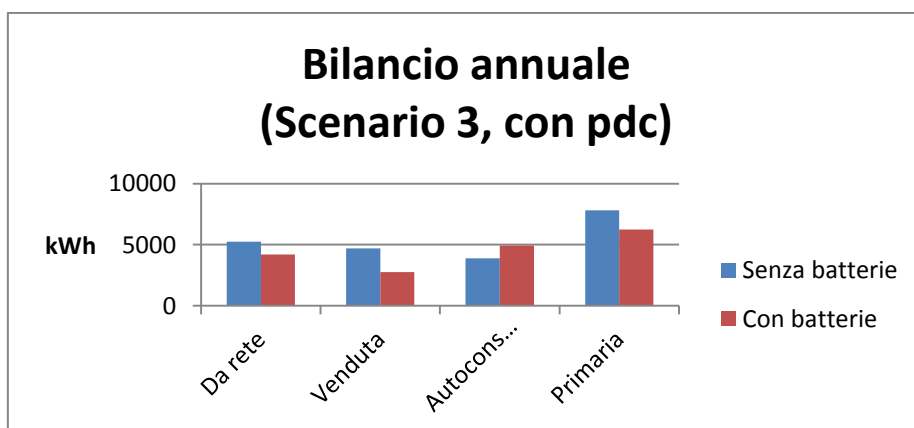
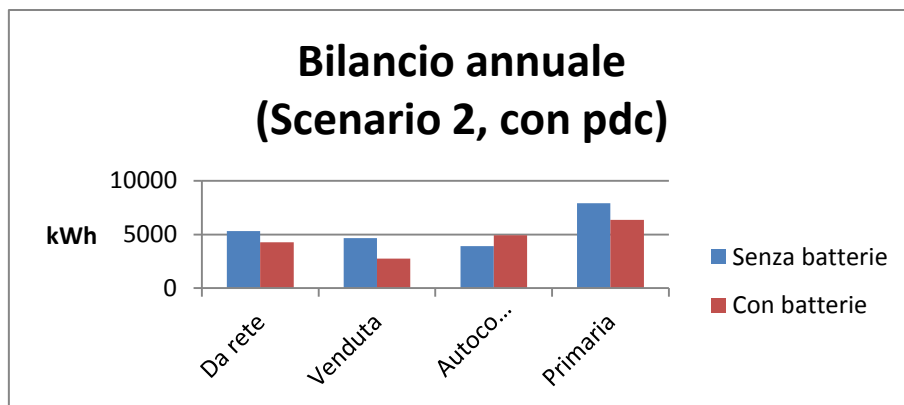


Bilancio annuale (Scenario 3, con resistenze)

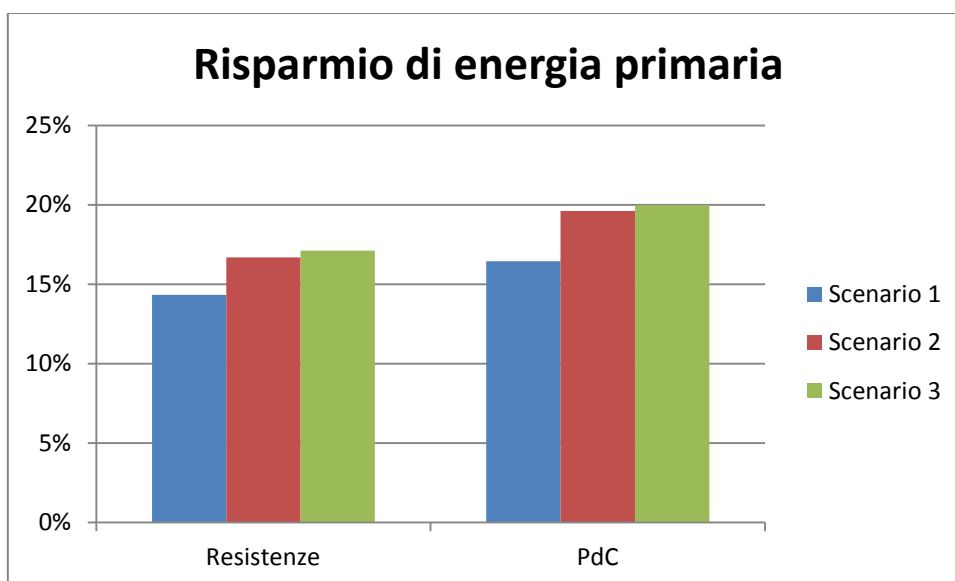


Bilancio annuale (Scenario 1, con pdc)





Considerando l'energia primaria, si nota che si ha un notevole risparmio utilizzando il sistema con batterie:



Impianto con pannelli da 250 W_p

Per l'impianto con i pannelli da 250 W_p, si sono utilizzati i seguenti parametri

Potenza pannelli	335	[W _p]
N° pannelli	18	
Potenza installata	6030	[W _p]
Superficie climatizzata	124,13	[m ²]
Capacità batterie	874	[Wh]
N° batterie	24	
Capacità totale	21,0	[kWh]
Quota energia rinnovabile da rete	0,3148	
Fattore moltiplicativo energia primaria	2,17	
Costo d'acquisto	0,29	[€/kWh _e]
Prezzo di vendita	0,1	[€/kWh _e]

Si sono ottenuti i seguenti risultati:

Caso con resistenze elettriche	Fabbisogno energia elettrica	Energia elettrica autoprodotta	Energia elettrica da rete	Energia venduta	Autoconsumo	Quota di energia rinnovabile da rete	Energia primaria
	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh _e]	[kWh]
Scenario 1	10624	8570	6025	1103	4598	1897	8958
Scenario 2	9916	8570	5456	1245	4460	1717	8112
Scenario 3	9841	8570	5390	1254	4450	1697	8014

Caso con resistenze elettriche	Fabbisogno specifico di energia elettrica	Fabbisogno specifico di energia primaria
	[kWh _e /m ² anno]	[kWh/m ² anno]
Scenario 1	86	72
Scenario 2	80	65
Scenario 3	79	65

Caso con resistenze elettriche	Acquisto	Vendita	Differenza
	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]
Scenario 1	1747	110	-1637
Scenario 2	1582	125	-1458
Scenario 3	1563	125	-1438

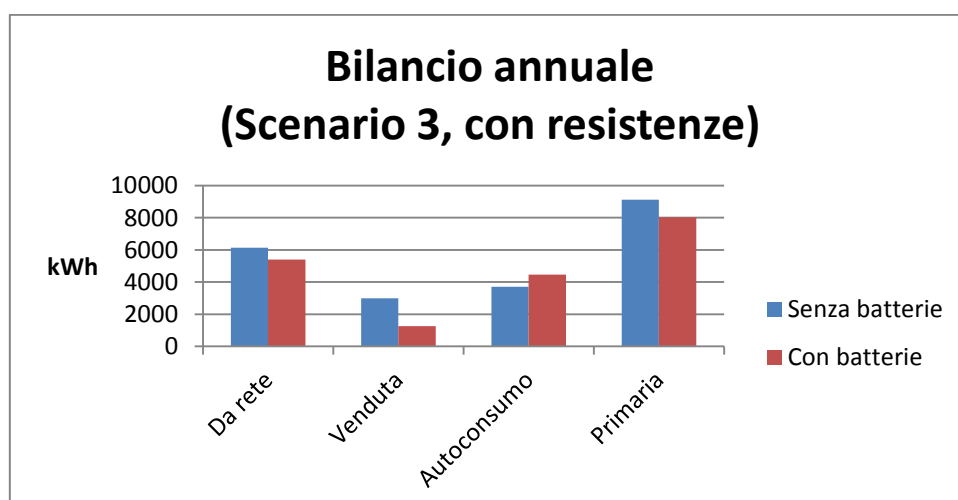
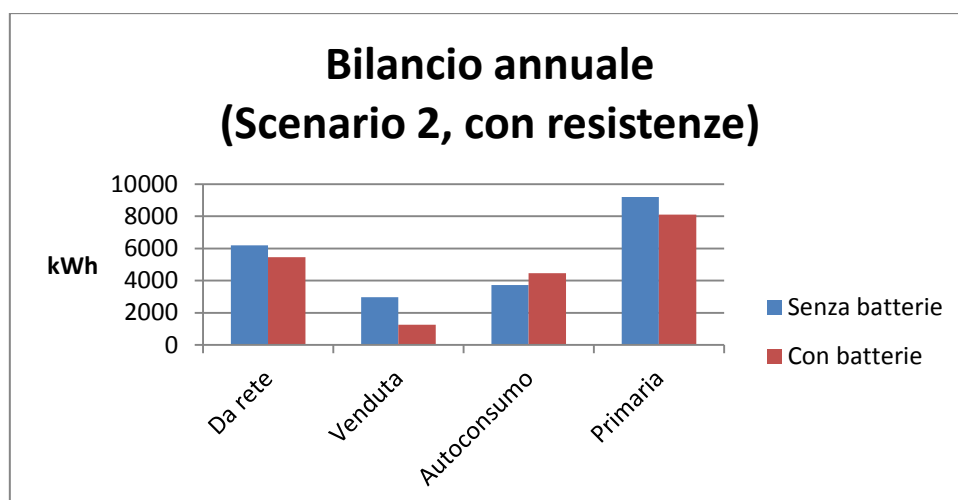
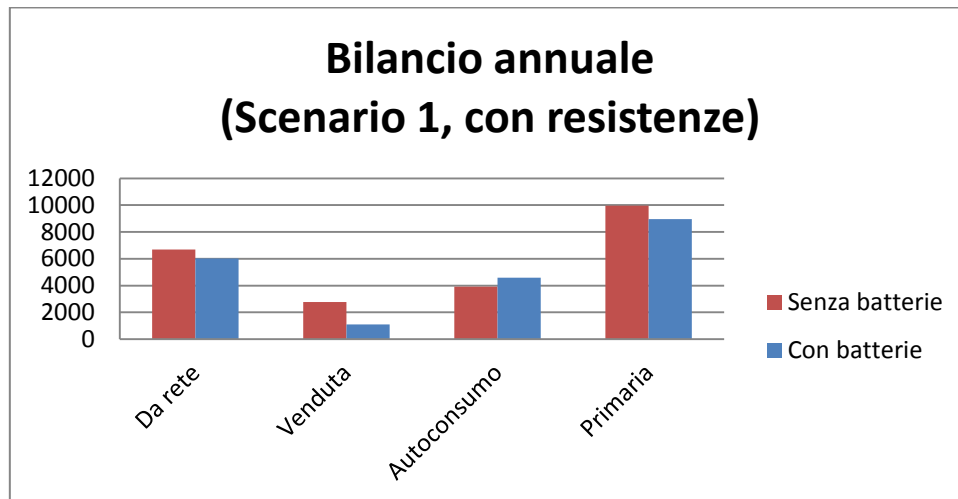
Per il caso con pompa di calore:

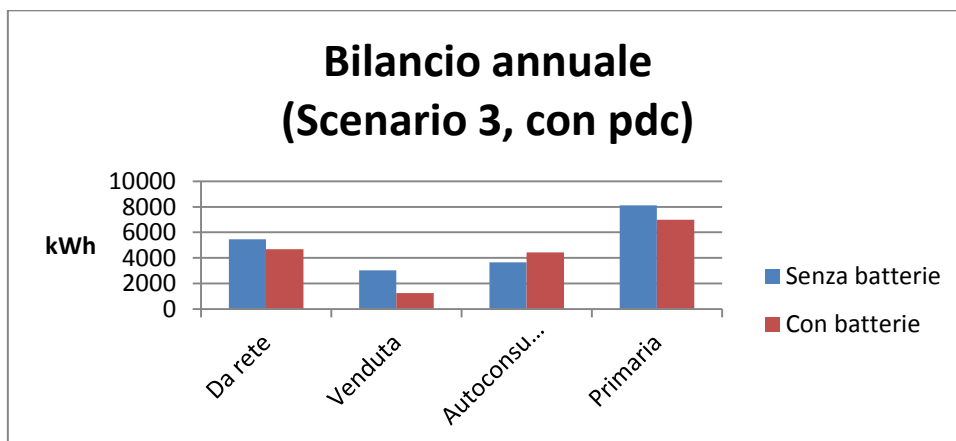
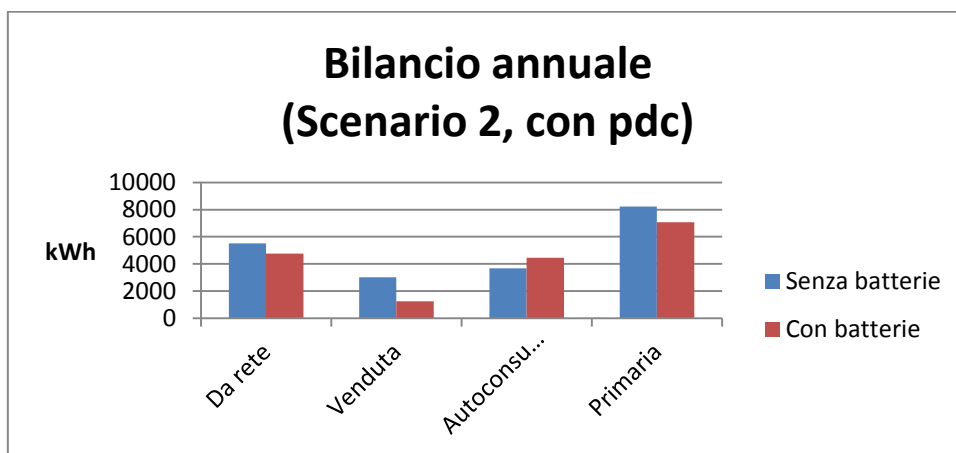
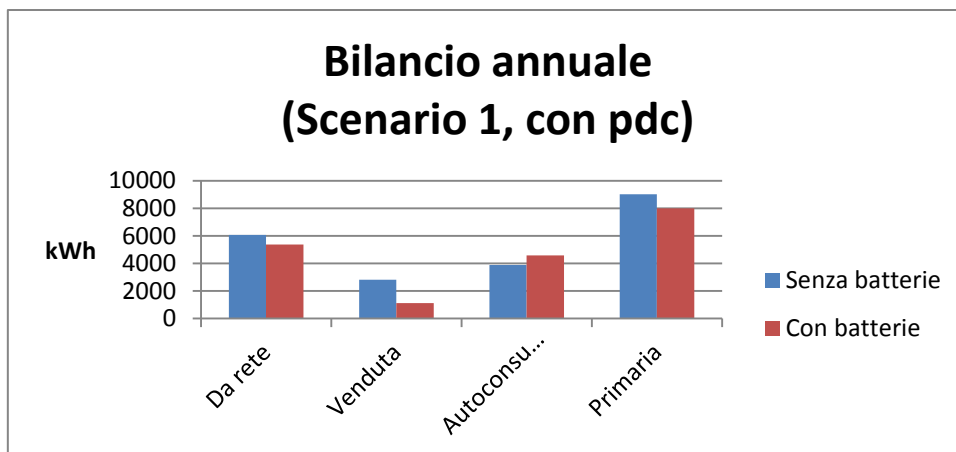
Caso con pdc	Fabbisogno energia elettrica	Energia elettrica autoprodotta	Energia elettrica da rete	Energia venduta	Autoconsumo	Quota di energia rinnovabile da rete	Energia primaria
	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWhe]	[kWh]
Scenario 1	9956	8570	5381	1123	4574	1694	8002
Scenario 2	9212	8570	4760	1248	4452	1498	7077
Scenario 3	9133	8570	4695	1263	4437	1478	6981

Caso con pdc	Fabbisogno specifico di energia elettrica	Fabbisogno specifico di energia primaria
	[kWhe/m2 anno]	[kWh/m2 anno]
Scenario 1	80	64
Scenario 2	74	57
Scenario 3	74	56

Caso con pdc	Acquisto	Vendita	Differenza
	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]
Scenario 1	1561	112	-1448
Scenario 2	1380	125	-1255
Scenario 3	1362	126	-1235

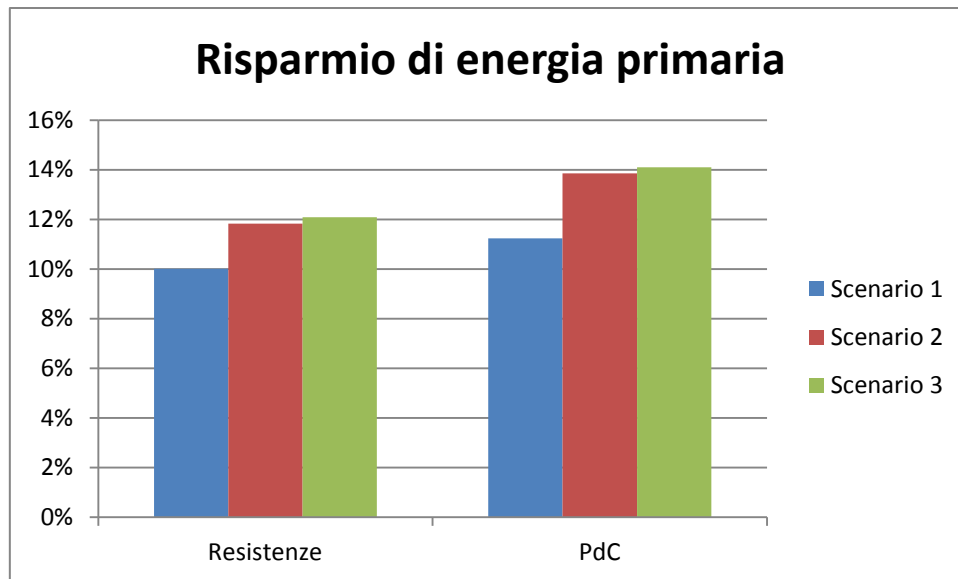
Anche in questo caso, si può notare come l'inserimento di un sistema di stoccaggio comporti una diminuzione dell'energia prelevata da rete e di un aumento dell'autoconsumo, ovviamente più ridotta del caso con i pannelli da 335 W_p, data la minore potenza installata.





Come nel caso precedente, considerando solo l'energia primaria necessaria all'edificio, si nota come il risparmio aumenti al variare dello scenario di simulazione.

Il risparmio massimo si ha per lo scenario 3 con pompa di calore per i bagni, anche se risulta essere minore di quello che si ha con i pannelli da 335 W_p.



Alla luce dei risultati ottenuti, si può affermare che il caso energeticamente più conveniente sia quello avente distribuzione mista AC-DC, elettrodomestici ad alta efficienza, riscaldamento dei bagni mediante pompa di calore, impianto fotovoltaico con pannelli da 335 W_p e sistema di stoccaggio. La convenienza economica esula dal lavoro svolto in questa tesi, sarebbe interessante, tuttavia, effettuare ricerche anche in quella direzione.

Capitolo 5

CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi si è visto come, nel settore residenziale, si cerchi di ridurre i consumi energetici degli edifici agendo su vari livelli.

In primis sulle prestazioni energetiche dell'involucro, cercando di creare un grado di isolamento sempre maggiore per ridurre al minimo i fabbisogni energetici.

In secondo luogo sugli impianti di climatizzazione, installando impianti sempre più efficienti come nel caso degli impianti a tutta aria a portata variabile.

Infine, sul sistema di distribuzione dell'impianto elettrico, con lo scopo di ridurre i consumi delle apparecchiature elettriche, utilizzando la corrente continua come standard per la distribuzione per eliminare le perdite dovute alle conversioni elettriche.

Si è analizzato, inoltre, un caso di studio reale, andando a studiare diversi scenari di simulazione.

Sono stati determinati i fabbisogni termici specifici nel corso di un anno tipo, che sono stati successivamente trasformati in fabbisogni elettrici, in ipotesi di utilizzo di un impianto a tutta aria con pompa di calore. L'obiettivo finale, infatti, è stato quello di ottenere profili di carico annuali totalmente elettrici, in modo da poter essere soddisfatti con un impianto fotovoltaico.

Ai profili elettrici per la climatizzazione sono stati aggiunti i carichi elettrici dovuti agli elettrodomestici, all'impianto di illuminazione, alla produzione di acqua calda sanitaria e ai ventilatori di mandata e di ripresa dell'impianto.

Una volta ottenuti i carichi totali, si sono eseguiti dei bilanci con l'energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico, in ipotesi di assenza e di utilizzo di un sistema di stoccaggio a batterie.

I risultati ottenuti dimostrano che per quanto riguarda i fabbisogni elettrici per la climatizzazione non vi è molta differenza fra i vari scenari, questo perché è stato effettuato un refitting solo sull'impianto luce e sugli apparecchi per il freddo, cosa che ha comportato una lieve variazione dei carichi interni.

Molta più differenza si ha nei consumi diretti. Il risparmio di energia elettrica è dell'ordine del 12% in favore dello scenario 3 rispetto allo scenario 2.

Si sono inoltre distinti due casi di riscaldamento per i bagni, uno con resistenze elettriche in zona e l'altro con pompa di calore e i risultati mostrano che il secondo caso è molto più conveniente.

Infine si sono analizzati i bilanci energetici con l'impianto fotovoltaico, con e senza batterie.

Sono stati ipotizzati due casi con potenze nominali del pannello diverse e si è visto che il pannello con potenza maggiore è molto più efficiente rispetto a quello standard.

Per quanto riguarda il sistema di stoccaggio i risultati mostrano che si ha un risparmio dell'ordine del 12-20%, a seconda dei casi, sul consumo di energia primaria.

Il caso più favorevole è stato quello che comprendeva la distribuzione mista AC-DC ed elettrodomestici ad alta efficienza, il riscaldamento con pompa di calore per i bagni, i pannelli da 335 W_p e il sistema a batterie.

Un sistema del genere, comunque, richiede molta energia elettrica, che l'impianto fotovoltaico analizzato non è in grado di soddisfare completamente, implicando un acquisto di energia dalla rete nazionale. Un impianto ad isola, quindi richiederebbe un parco fotovoltaico di taglia maggiore di quella considerata, con un aumento dei costi di installazione.

I risultati sono promettenti, ma andrebbero condotte ulteriori ricerche, soprattutto per analizzare un caso in cui le apparecchiature elettriche siano tutte operanti in corrente continua e considerando un impianto fotovoltaico in grado di soddisfare completamente i carichi elettrici richiesti.

BIBLIOGRAFIA

Asare-Bediako B. et al., *Future residential load profiles: Scenario-based analysis of high penetration of heavy loads and distributed generation*, in < <http://www.sciencedirect.com/>>.

Bortolini M. et al., *Technical and economic design of photovoltaic and battery energy storage system*, < <http://www.sciencedirect.com/>>.

Cavallini A., Mattarolo L., *Termodinamica applicata*, Padova, CLEUP, 1992

Keles C. et al., *A smart building power management concept: Smart socket applications with DC distribution*, < <http://www.sciencedirect.com/>>.

Livotto A., *Analisi termica delle coperture ventilate*, in <http://tesi.cab.unipd.it/42368/1/tesi_livotto_alessandro_def.pdf>.

Müller L., Berker T., *Passive House at the crossroads: The past and the present of a voluntary standard that managed to bridge the energy efficiency gap*, < <http://www.sciencedirect.com/>>.

Paggiaro F., *Modellistica e controllo di un sistema di condizionamento di tipo VAV*, in < <http://tesi.cab.unipd.it/28283/>>

Pillai G. G. et al., *Generation of synthetic benchmark electrical load profiles using publicly available load and weather data*, in < <http://www.sciencedirect.com/>>.

Thomas B.A. et al., *Edison Revisited: Should we use DC circuits for lighting in commercial buildings?*, in < <http://www.sciencedirect.com/>>.

Vossos V. et al., *Energy savings from direct-DC in U.S. residential buildings*, in < <http://www.sciencedirect.com/>>.

Wang R.Z. et al., *The present and the future of residential refrigeration, power generation and energy storage*, in < <http://www.sciencedirect.com/>>.

<http://www.emergealliance.org/>

<http://www.energystar.gov/>

<http://www.phi-italia.it/in-formazione/la-casa-passiva.html>

<http://www.zephir.ph/index.php?id=2>