

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI
BOLOGNA

CAMPUS DI CESENA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA
PER L'ENERGIA E L'INFORMAZIONE

TITOLO DELL'ELABORATO

Tecnologie elettroniche per case ad elevata efficienza
energetica

Elaborato in

Elettronica Analogica

Relatore

Claudio Fiegna

Presentato da

Lorenzo Domeniconi

Anno Accademico 2016-17

Indice capitoli

1-Introduzione	7
1.1 - La Storia della casa passiva	7
1.2 - La definizione di casa passiva	9
2-Requisiti energetici	10
2.1 - Differenze tra basso consumo e passivo	10
2.2 - Standard energetici di una casa passiva	11
2.3 - Confronto tra vari tipi di abitazione	12
3-Caratteristiche di progetto	14
4-La forma della passivhaus	17
5-Orientamento e posizioni strategiche della passivhaus..	19
5.1 - Disposizione ottimale delle camere	19
5.2 - Carichi di vento	22
5.3 - Recupero dell'acqua piovana	23
6-Coibentazione dell'involucro	25
6.1 - Muratura	25
6.2 - Tetto.....	26
6.3 - Finestre e infissi	27
7-Impianto fotovoltaico	29
7.1 - Impianto senza accumulo (on-grid)	29
7.2 - Impianto con accumulo (off-grid)	30
7.3 - Inverter.....	31
7.4 - Inverter con batterie di accumulo integrate.....	33
7.5 - Dimensionamento dell'impianto fotovoltaico	35
7.6 - Dimensionamento dell'impianto di accumulo	36
7.7 - Esempio reale dimensionamento impianto ibrido.....	38
7.8 - Esempio reale dimensionamento impianto stand alone...	46

8–Ombreggiatura	50
8.1 – Ombreggiatura automatica.....	52
8.2 – Ombreggiatura manuale	54
9–Ventilazione meccanica controllata (VMC)	55
9.1 – Ventilazione con recupero di calore.....	55
9.2 – Pompa di calore	58
10–Sistema geotermico	60
10.1 – Geotermico “in serie” alla VMC	60
10.2 – Geotermico per riscaldamento acqua sanitaria.....	63
11–Pannelli solari termici	66
12– Conclusioni	70
13–Bibliografia	71

Indice immagini

1-Orientazione asse eliotermico	14
2-Casa passiva con vetrate esposte a sud	15
3-Caratteristiche principali casa passiva	16
4-Varie forme per una passivhaus.....	18
5-Disposizione ottimale delle camere per sfruttare al meglio il ciclo solare	21
6-Ostacoli naturali per evitare l’impatto diretto del vento sulla passivhaus.....	22
7-Impianto per il recupero e riutilizzo dell’acqua piovana	23
8-Isolamento necessario per una finestra.....	27
9-Differenze di temperatura interna tra parete con e senza cappotto	28
10-Impianto fotovoltaico dotato di inverter con accumulo elettrico	34
11-Impianto fotovoltaico installato su un tetto a falde.....	39
12- Grafico sulla stima di produzione di energia mensile di un impianto fotovoltaico.....	44

13–Grafico sulla percentuale di giorni con la batteria completamente carica.....	45
14–Efficienza dei diversi tipi di ombreggiatura.....	51
15–Componenti del sistema di ombreggiatura automatico.....	53
16–Controllo touch screen manuale per apertura/chiusura tende.....	54
17–Scambiatore di calore.....	56
18–Impianto di ventilazione meccanica controllata.....	57
19–Pompa di calore.....	59
20–Pompa di calore geotermica orizzontale.....	61
21–Pompa di calore geotermica “in serie” alla VMC.....	62
22–Sonda geotermica verticale.....	63
23–Impianto solare termico con circolazione naturale.....	67
24–Impianto solare termico con circolazione forzata.....	69
25–Grafico sui consumi medi di un’abitazione standard.....	70

1 – INTRODUZIONE

1.1 – La storia della casa passiva

Era l'anno 1988 quando una collaborazione tra il professor *Wolfgang Feist* dell'istituto Wohnen und Umwelt (habitat e ambiente) di Darmstadt, in Germania ed il professor *Bo Adamson* dell'Università di Lund, in Svezia, dà luogo ad un nuovo concetto di abitazione. Nacque così l'idea di una casa che non avesse bisogno di riscaldamento perché d'inverno era sufficientemente calda in quanto non permetteva al calore interno di disperdersi riscaldandosi con la sola esposizione al sole, mentre d'estate non aveva bisogno di raffreddarsi in quanto, grazie a quello stesso isolamento e ad altri sistemi di ventilazione, permetteva di mantenere l'abitazione sufficientemente fresca.

Nel 1991 a Darmstadt-Kranichstein nasce il primo complesso di 4 villette a schiera passive. Lo stesso istituto tedesco, nel 1996, stilò le norme che una casa passiva doveva seguire per essere considerata tale.

Ingegneri, architetti e studiosi di tutto il mondo vollero replicare e migliorare questa rivoluzione e da allora in Svezia, Austria, Olanda e nella stessa Germania si sono diffuse migliaia di casa passive. Ad oggi se ne contano più di 25 mila nella sola Europa, per la prima casa passiva certificata in Nord America invece si dovrà attendere fino al 2010. ^[1]

L'Italia ha cominciato a percorrere questa strada da qualche anno e ad oggi si possono contare sul nostro territorio centinaia di case passive certificate, uno dei primi edifici pubblici è stato realizzato all'Expost di Bolzano, progettato dal arch. Michael Tribus nel 2004.

L'Europa è già intervenuta dettando una linea guida: tutti gli edifici di nuova costruzione, a partire dal 31 dicembre 2020 per le strutture pubbliche, dal 2021 per le residenze private, dovranno uniformarsi al concetto di edificio a energia quasi zero. Alcuni paesi si sono già adeguati come ad esempio l'Austria che dal 2015 ha imposto la costruzione di tutti i nuovi edifici con tecnologia passiva.

Anche l'Italia con un po' di ritardo sta prendendo provvedimenti in questo ambito: entro il 2019 per edifici pubblici ed entro il 2021 per edifici privati, diventerà obbligatorio costruire solo edifici nZEB (edifici a energia quasi zero). [\[2\]](#)

1.2 – La definizione di casa passiva

La casa passiva (anche detta passivhaus) è un'abitazione assolutamente priva di impianti di riscaldamento tradizionali come caldaie, termosifoni o scaldabagni. Si parla di case che hanno delle caratteristiche strutturali molto particolari. In primis, grazie all'isolamento termico, presentano bassissima dispersione di calore. È detta passiva perché il riscaldamento è frutto dell'irraggiamento solare attraverso gli infissi ma anche dagli elettrodomestici e dalle persone che vi abitano. Quel che manca per arrivare al bilancio termico dell'abitazione è fornito da impianti fotovoltaici o pompe di calore.

La progettazione della casa passiva è curata nei minimi particolari. È realizzata soprattutto in legno strutturale e materiali altamente isolanti ed è dotata di impianti di ventilazione controllata a recupero energetico.

Alcune caratteristiche che la distinguono sono i vetri doppi o tripli, gli infissi in PVC, l'orientazione dell'abitazione rispetto al percorso del sole e gli impianti fotovoltaici. [\[3\]](#)

2 – REQUISITI ENERGETICI

2.1 – Differenze tra basso consumo e passivo

Bisogna fare chiarezza su due terminologie che nel gergo si possono confondere ma che hanno significati molto differenti:

- Casa a basso consumo energetico → Il consumo non deve superare i 70 kWh/m²anno. Grazie alla ristrutturazione i vecchi edifici possono raggiungere questo standard, si agisce soprattutto sull'isolamento, compreso il tetto, che dovrebbe avere uno spessore di 20-40 cm e sull'isolamento delle finestre che devono essere realizzate in vetro con elevata resistenza termica.

- Casa passiva → Il fabbisogno annuo è inferiore a 15 kWh/m²anno quindi una casa passiva risparmia il 70-80% dell'energia termica rispetto alla casa a basso consumo energetico. Una casa passiva non necessita praticamente di riscaldamento a parte in qualche mese invernale.

Sono progettate in modo tale che le grandi superfici vetrate, dotate di tripla vetrata per evitare dispersioni, possano essere sfruttate dalla radiazione solare per penetrare all'interno. In una casa passiva, numerosi sensori sono collegati al sistema di riscaldamento e ventilazione per ottenere una regolazione precisa ed evitare quindi sprechi di energia. ^[4]

2.2 – Standard energetici di una casa passiva

Lo standard tedesco prevede i seguenti requisiti per una passivhaus:

- fabbisogno energetico utile richiesto per il riscaldamento ≤ 15 kWh/(m²anno)
- carico termico^{1} invernale ≤ 10 W/m²
- fabbisogno energetico utile richiesto per il raffrescamento ≤ 15 kWh/(m²anno)
- carico termico estivo ≤ 10 W/m²
- fabbisogno energetico primario di energia ≤ 120 kWh/(m²anno)

[5]

^{1}Carico termico: *Il carico termico indica quanta energia viene dispersa (e deve quindi essere reintegrata dall'impianto) per riscaldare a 20°C un locale nel giorno più freddo dell'anno.*

Il carico termico indica quali sono le dispersioni massime, non quanto consuma la casa durante tutto l'inverno, anche se i due dati sono direttamente legati. Ovviamente la stessa definizione può essere applicata al carico termico estivo. [6]

2.3 – Confronto tra vari tipi di abitazione

Verrà di seguito illustrato il bilancio energetico di vari tipi di edificio per avere un'idea della sostanziale differenza tra le varie classi, prendendo come riferimento esemplare una casa-tipo, di due piani, unifamiliare, con una superficie riscaldata di 160 metri quadri:

- Edificio vecchio: Questa casa in un anno consuma 5500 litri di gasolio per il riscaldamento al netto delle perdite. Fra dispersione per trasmissione e dispersione per ventilazione (arieggiamento tramite l'apertura delle finestre), le perdite sono equivalenti a 913 litri di gasolio. I guadagni, fra apporti solari (151 litri) e guadagni interni (400 litri) equivalgono a 551 litri. La differenza (5500+913-551) è di 5878 litri.

Questa casa, se fosse riscaldata fino a 20 gradi tutto l'inverno, consumerebbe 5878 litri con un CES di 37 l/m²anno {2}.

- Edificio ristrutturato (contenimento dei consumi energetici): Lo stesso edificio costruito come lo prescrive la legge al momento in vigore, la L. nr. 10/1991; ha le perdite per trasmissione e dispersione per ventilazione più ridotte, circa del 10-15% arrivando a un consumo di 776 litri di gasolio. L'involucro è un po' meno permeabile e le finestre sono più moderne. Gli apporti solari rimangono ancora una volta invariati, perché la superficie delle finestre rimane uguale. Anche i guadagni interni non cambiano, rimanendo stabile quindi sul precedente valore di 151+400 litri di gasolio. Ciò che cambia notevolmente sono consumi che arrivano a un equivalente di 1975 litri di gasolio, per un consumo totale all'incirca di 2200 litri, praticamente la tipica casa di oggi.

- Casa a basso consumo ($CES < 7 \text{ l/m}^2\text{anno}$): applicando un buon isolamento termico, si riesce a dimezzare le dispersioni per trasmissione. Non è necessario cambiare i materiali, si deve solo aumentare ancora lo strato isolante oppure scegliere del materiale con un potere isolante maggiore.
- Casa passiva ($CES < 1,5 \text{ l/m}^2\text{anno}$): Ecco in sintesi cosa occorre per ottenere lo standard di una casa passiva:
 - isolamento termico ottimale
 - assenza di ponti termici
 - perfetta impermeabilità all'aria
 - 30% di vetrate sulla facciata esposta a sud
 - impianto di ricambio dell'aria con recupero di calore
 - forma compatta
 - produzione d'acqua calda con un impianto a energia rinnovabile
 - elettrodomestici a basso consumo. [7]

^{2} CES: Consumo energetico specifico, misurato in litri di gasolio per metro quadro e anno ($\text{l/m}^2\text{a}$). Si trova frequentemente anche l'unità di misura kwatt/ora per metro quadro e anno ($\text{kW/h/m}^2\text{a}$). Un litro di gasolio corrisponde circa a 10 kwatt/ore, per conoscere il valore in kwatt/ore, bisogna moltiplicare il valore espresso in $\text{l/m}^2\text{a}$ per 10 e si ottiene il risultato in kwatt/ore per metro quadro e l'anno.

3 – CARATTERISTICHE DI PROGETTO

Per la progettazione e realizzazione di una casa passiva bisogna rispettare delle caratteristiche di progetto che dettano una linea guida:

1. **La Forma della Casa**: la forma della casa influisce in maniera significativa sulle perdite termiche. Lo scambio termico tra interno ed esterno di una casa avviene infatti attraverso la superficie dell'involucro; quanto più elevata è la superficie (S) che racchiude il volume (V) riscaldato, tanto più elevato è lo scambio termico. Per essere energeticamente efficiente una casa deve avere un basso indice S/V che è il rapporto tra superficie dell'involucro e volume climatizzato.
2. **L'orientazione della Casa**: l'edificio dovrà essere organizzato lungo l'asse eliotermico per uniformare i valori termici e luminosi, bisognerà quindi disporre le superfici vetrate maggiormente verso Sud e meno a Nord.

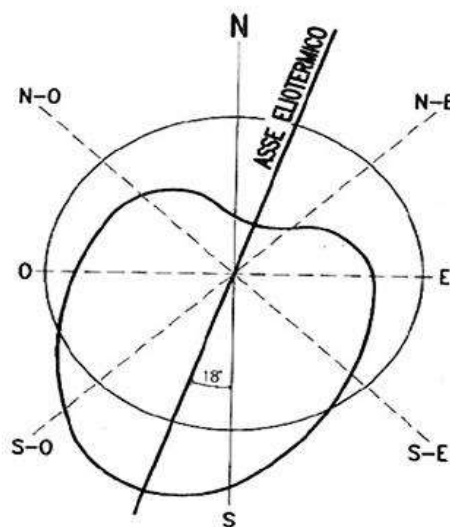


Figura 1
Orientazione asse eliotermico

3. **I Serramenti:** la superficie ottimale delle vetrate sul lato sud è dell'ordine del 40% della superficie complessiva della facciata (alle nostre latitudini è sufficiente il 30%). Anche le finestre orientate a ovest richiedono una particolare attenzione; non migliorano molto il bilancio energetico invernale e in estate contribuiscono notevolmente al surriscaldamento anche più di quelle orientate a sud, devono quindi essere dotate di efficaci sistemi di ombreggiamento. I telai delle finestre sono i componenti a maggior dispersione dell'intero involucro, è importante che la superficie del telaio sia ridotta al minimo.



Figura 2
Casa passiva con vetrate esposte a sud

4. **L'Involucro:** l'involucro di una casa passiva deve soddisfare la condizione di trasmittanza in funzione della zona in cui viene costruito. Per definizione, i valori di trasmittanza termica di un edificio passivo devono essere inferiori a $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le superfici opache ed inferiori a $0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$ per quelle trasparenti.

5. **La Ventilazione Forzata:** in un edificio convenzionale il ricambio d'aria avviene attraverso una periodica apertura delle finestre, ciò comporta grosse perdite di calore che una casa passiva non può permettersi. In una casa passiva il ricambio d'aria avviene tramite un Sistema di Ventilazione Meccanica Controllata che provvede al necessario ricambio anche in assenza di persone. L'apparato di ventilazione è costituito da un doppio sistema di canalizzazioni: una in entrata, che prende l'aria dall'ambiente esterno, la filtra per togliere eventuali impurità, la convoglia in apposite apparecchiature che provvedono al suo trattamento alla temperatura voluta e infine la immettono nell'ambiente interno; un secondo sistema convoglia all'esterno l'aria viziata. [8]



Figura 3

Caratteristiche principali casa passiva

4 – LA FORMA DELLA PASSIVHAUS

Nel progetto di un edificio passivo l'unica vera restrizione riguarda l'involucro termico che deve essere compatto, per massimizzare l'efficienza energetica. A parità di condizioni, una casa di tre camere su due piani con una forma compatta è molto più efficiente di un'abitazione analoga ma disposta su un singolo piano. Bisogna notare anche che edifici con forme energeticamente più efficienti hanno costi minori in quanto, essendo più compatti rispetto alle classiche abitazioni, si andrà a risparmiare sul numero di muri, sulla superficie del tetto e sulle fondamenta da realizzare. Un progettista quindi dovrà cercare di eliminare forme complesse come "L" o ondulate ed eliminare i volumi riscaldati che escono dalla sagoma principale. [9]

Tecnicamente c'è necessità di una forma compatta perché al crescere della superficie esposta crescono le dispersioni di energia verso l'esterno in inverno e i guadagni termici indesiderati durante l'estate. D'altra parte al crescere del volume cresce la massa e quindi l'energia che l'edificio è in grado di accumulare contribuendo a smorzare le oscillazioni termiche. È quindi fondamentale considerare il rapporto tra superficie dispersiva e volume (S/V), minore è questo rapporto e migliore è l'efficienza termica dell'edificio. [10]

Dei valori tipici di S/V [m^{-1}] possono essere:

- ❖ Villetta ≈ 0.80
- ❖ Villetta a schiera ≈ 0.65
- ❖ Edificio in linea ≈ 0.50
- ❖ Edificio a torre ≈ 0.30 [11]

Quando si parla di forma "compatta" non si parla esclusivamente di un cubo ma sarà il progettista che dovrà usare altri metodi per rendere accattivante l'estetica dell'abitazione, di seguito qualche esempio di forme compatte ma esteticamente piacevoli:



*Figura 4
Varie forme per una casa passiva*

5 – ORIENTAZIONE E POSIZIONI STRATEGICHE DELLA PASSIVHAUS

5.1 – *Disposizione ottimale delle camere*

Una corretta esposizione dei locali al sole è molto importante in quanto consente di risparmiare sia sulle spese di riscaldamento invernali, sia sulle spese di illuminazione. Le radiazioni solari hanno un effetto purificante nei confronti dell'aria della casa ed è per questo motivo che risulta fondamentale riservare ad ogni ambiente della casa la luce diretta del sole anche se solo per qualche ora al giorno.

Le stanze nelle quali si passa il maggior numero di ore durante la giornata e che necessitano di luce e calore per tutto il giorno, saranno direzionate verso Sud. In particolare la cucina trova la sua posizione ottimale a *Sud-Est* ed il soggiorno a *Sud-Ovest*, in modo da poter usufruire di tutta la luminosità del sole pomeridiano.

Generalmente nella scelta dei colori di arredi e finiture si consigliano in questa zona colori dai toni freddi, dal bianco puro all'intera gamma di azzurri e verdi dato che l'abbondanza di sole contribuirà a riscaldarli. ^[12]

L'orientazione delle facciate verso sud è la migliore per due motivi:
» in inverno, riescono a beneficiare di buona radiazione solare durante l'arco della giornata.

L'incidenza dei raggi è quasi perpendicolare in questa stagione e pertanto essi riescono a penetrare in profondità nell'ambiente e nelle stanze;

» in estate, al contrario, il sole trovandosi nel punto più alto fa sì che i raggi cadano con un angolo di incidenza acuto e quindi, non riuscendo a entrare in modo diretto in casa, la surriscaldano in modo non eccessivo. ^[13]

Da simulazioni a computer si è potuto capire che:

- » la superficie ottimale delle vetrate sul lato sud è dell'ordine del 40% della superficie complessiva della facciata;
- » un aumento della superficie vetrata oltre il 50% della superficie complessiva della facciata non aumenterà in modo significativo i guadagni solari in inverno e quindi influirà solo in misura trascurabile sul fabbisogno termico. Per contro, in estate si avverterà un surriscaldamento temporaneo dei locali che ridurrà sensibilmente il benessere termico;
- » una riduzione della superficie vetrata al di sotto dell'ottimale riduce il pericolo di surriscaldamento in estate, ma riduce anche l'illuminazione naturale e aumenta quindi i consumi energetici per illuminazione artificiale e riscaldamento invernale. ^[14]

Tutti quegli ambienti che non necessitano di luce eccessiva, quindi tutti i disimpegni e vani accessori quali scale, ripostigli, spogliatoi ed anche bagni e corridoi, andranno rivolti a Nord, il lato più freddo dell'edificio, funzionando da cuscinetto termico per i locali della zona giorno, isolandoli dal freddo invernale. In questi ambienti i colori caldi come giallo, arancio, rosa e rosso accostati con il bianco, sono i più consigliati.

L'orientamento ottimale della zona notte sarà a *Nord-Est*, in quanto investita dai primi raggi solari del mattino, per beneficiare di un buon risveglio energetico del corpo. Per i colori andranno bene tutti i toni naturali, dal beige più spento all'ocra rosato, ed anche certi azzurri e grigi, perché la buona luminosità naturale è già sufficiente.

La zona *Ovest* infine sarà favorevole per tutte quelle zone di relax sfruttando la luce del pomeriggio, calda ed intensa, e del tramonto. Per questa zona vanno bene toni come grigi chiari e azzurri ardesia, ravvivati dall'accostamento con colori più vivaci, che saranno riscaldati dalla luce del sole al tramonto. [12]



Figura 5

Disposizione ottimale delle camere per sfruttare al meglio il ciclo solare

5.2 – Carichi di vento

Le località ventose hanno un impatto sfavorevole sul fabbisogno di energia termica nella parte più fredda dell'anno, poiché l'edificio si raffredda più velocemente a causa del flusso di aria fredda. Negli edifici ordinari ciò determina una differenza considerevole, ma anche negli edifici ad alta efficienza energetica il fabbisogno può essere più alto di 2–3 kWh/m²a. Nelle aree ventose, un frangivento (naturale o artificiale) può ridurre in modo significativo la dissipazione termica dell'edificio, permettendo quindi di risparmiare energia termica. [15]

Anche gli alberi possono aiutare a ridurre il fabbisogno energetico dell'abitazione: disponendo gli alberi a foglia caduca sul fronte a sud, si scherma il sole d'estate e gli si lascia "campo libero" d'inverno quando si vuole il massimo guadagno solare. [16]

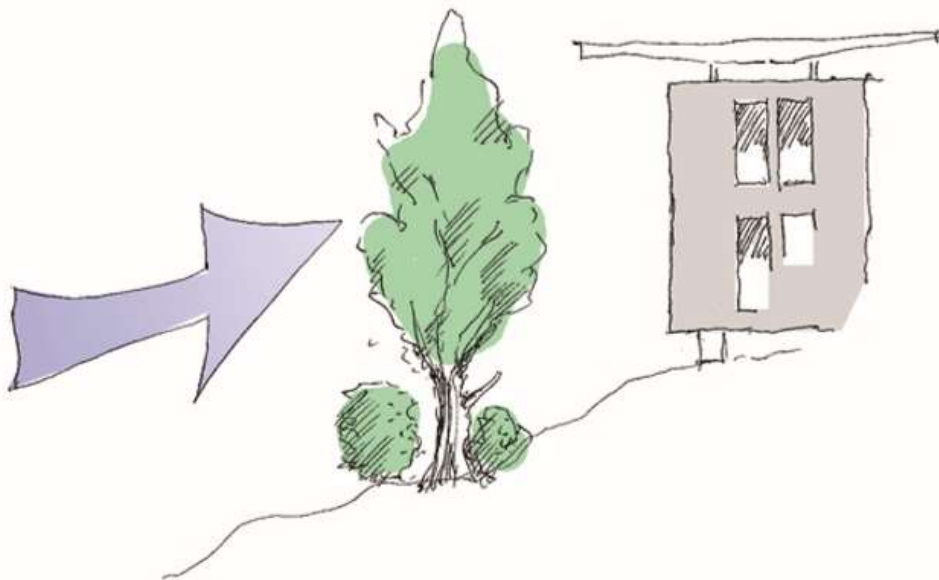


Figura 6
Ostacoli naturali per evitare l'impatto diretto del vento sulla passivhaus

5.3 – Recupero dell'acqua piovana

Il riutilizzo delle acque piovane consiste nel convogliare le acque che scendono sul tetto e che finiscono nelle grondaie in apposite cisterne, da queste l'acqua viene ripescata nel momento del bisogno e utilizzata per lo scarico dei bagni, per l'irrigazione, per lavare l'auto o per tutte quelle attività in cui non si necessita di acqua potabile.



Figura 7
Impianto per il recupero e riutilizzo dell'acqua piovana

A differenza degli altri sistemi necessari per entrare nella famiglia delle passivhaus, questo non è indispensabile quindi il costruttore è libero di fare valutazioni in base all'efficienza e ai costi che comporterebbe il sistema.

In base alla posizione geografica di installazione l'efficienza può variare di molto. Se il clima ha una discontinuità nelle precipitazioni meteorologiche si verifica che nel periodo invernale ci sono molte e frequenti piogge mentre nel periodo estivo ci sono lunghi periodi di caldo con pochissime precipitazioni; da ciò si deduce che quando in inverno le cisterne sono piene d'acqua, questa è di poco utilizzo, poichè oltre all'uso per i servizi igienici è inutile per innaffiare, mentre in estate quando serve una quantità maggiore di acqua tutti i giorni, la riserva per quanto capiente, non riuscirebbe a sostenere il fabbisogno totale della casa. ^[17]

6 – COIBENTAZIONE DELL'INVOLUCRO

L'involucro di un edificio passivo dell'Europa centrale deve soddisfare la condizione di trasmittanza termica $U < 0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Per ottenere questo valore occorre:

- » uno strato termoisolante dello spessore di 25 cm sui muri perimetrali e di 40 cm sui tetti;
- » finestre con caratteristica trasmittanza termica $U < 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$;
- » assenza di ponti termici;
- » rinunciare a balconi e ad altri elementi sporgenti (per esempio le gronde) o costruirli in modo tale che non abbiano diretto contatto con l'edificio;
- » considerare che l'alto costo dell'elevato spessore della coibenza termica è compensato dai risparmi energetici nell'esercizio dell'edificio e dall'assenza di costi per l'impianto di riscaldamento.

[14]

6.1 – Muratura

La scelta del sistema murario ha effetti rilevanti sulla qualità termica e sui costi di realizzazione di un edificio. È disponibile un'ampia scelta di soluzioni progettuali. Quasi tutti i tipi di struttura muraria esterna possono essere applicati allo standard di casa passiva:

❖ Pareti esterne in legno:

- Strutture a montanti in legno / a telaio in legno
- Strutture in legno massiccio con isolamento esterno (a cappotto)

❖ Pareti esterne in materiali pesanti (laterizio, calcestruzzo...) senza telaio:

- Strutture murarie esterne con sistemi compositi di isolamento termico (ETICS)
- Strutture murarie esterne con facciata continua
- Strutture murarie esterne a singola pelle
- Strutture murarie esterne a doppia pelle ^[15]

Molte delle opzioni disponibili sono equivalenti in quanto a qualità e risultati, ma il tipo di casa, il clima locale e l'esposizione suggeriscono di volta in volta quale sistema e materiale siano più adatti. ^[19]

6.2 – Tetto

Provvedere ad un eccellente isolamento termico per il tetto e i suoi contorni risulta generalmente molto semplice. Nel caso delle strutture in legno, travetti e travi dovrebbero essere sottili e con nervatura sporgente, in modo che l'isolamento possa essere spesso dai 30 ai 40 cm o più (in Europa centrale). Analogamente la stessa regola si applica anche ai tetti piatti. ^[15]

I metodi più diffusi per l'isolamento termico ed acustico di una casa passiva ecologica includono: la paglia, la lana, la canapa, la fibra di legno, la carta riciclata, il sughero. Questi materiali vengono forniti in una varietà di formati: a pannelli rigidi, tappeti, materassi, blocchi, sfusi, ciascuno adatto a diverse applicazioni all'interno dell'edificio.

La controindicazione dell'isolamento può essere che, come per i muri, lo spessore del tetto è notevole, quindi aumenta il volume totale dell'edificio (o ne riduce il volume interno), l'altro problema possibile è il surriscaldamento della casa, per evitare il quale occorre massima attenzione nel progettarne la ventilazione. [19]

6.3 – Finestre e infissi

In un edificio dotato di un elevato isolamento termico le perdite di calore per trasmissione risultano molto ridotte e quindi acquistano una maggiore importanza le perdite causate dall'infiltrazione incontrollata d'aria fredda attraverso i giunti (finestre, porte). Viene quindi richiesto:

» un involucro termico ininterrotto, specificatamente le finestre devono essere munite di guarnizioni per evitare spifferi e devono essere installate in maniera contigua con la parete per evitare ponti termici;



Figura 8
Isolamento necessario per una finestra

» un involucro termico applicato a cappotto, cioè all'esterno di tutte le pareti perimetrali per aumentare l'isolamento tra interno e esterno. [14]

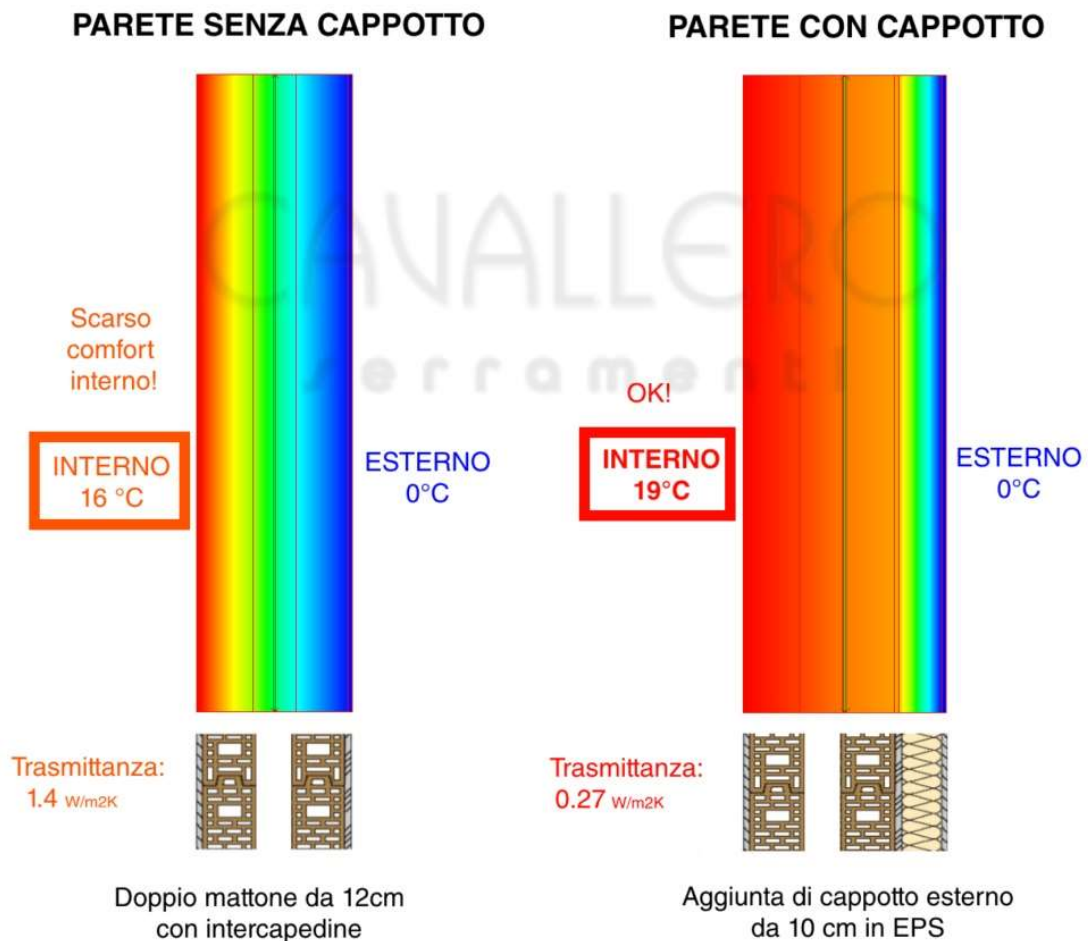


Figura 9

Differenze di temperatura interna tra parete con e senza cappotto

7 – IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'installazione di impianti fotovoltaici non aggiunge nessuna nuova tecnologia alle passivhaus dato che questi sono in commercio già da parecchi anni ma risultano comunque indispensabili per ottenere un'abitazione indipendente dal punto di vista energetico.

7.1 – Impianto senza accumulo (on-grid)

Gli impianti fotovoltaici senza accumulo sono gli impianti tradizionali, quelli che producono energia "pronta all'uso", ma che non sempre riescono a soddisfare il fabbisogno degli edifici, soprattutto di notte o nelle giornate invernali, quando la disponibilità di luce per la produzione di energia è inferiore o assente.

Quando l'energia prodotta dai pannelli solari non è sufficiente, si ricorre alla tradizionale rete elettrica, pagando ovviamente in bolletta ciò che si utilizza.

Vantaggi e svantaggi di un impianto fotovoltaico senza accumulo:

Gli impianti fotovoltaici senza accumulo hanno una struttura più semplice degli impianti fotovoltaici con accumulo in quanto non necessitano di batterie e centraline per stoccaggio e controllo dell'energia. Ne consegue quindi che gli impianti fotovoltaici senza accumulo sono più economici e la loro installazione costa in media il 30% in meno di quella degli impianti con accumulo, sebbene il costo totale dipenda molto dal tipo di batterie utilizzate per l'accumulo. Gli impianti senza accumulo permettono poi di prelevare l'energia necessaria dalla rete elettrica, garantendo una fornitura più costante,

e di immettere in rete l'energia prodotta durante il giorno ma non consumata, offrendo così un piccolo guadagno extra. Lo svantaggio resta però il fatto che non ci si può staccare dalla rete elettrica nazionale, restando quindi obbligati a dover affrontare il costo delle bollette. [20]

7.2 – Impianto con accumulo (off-grid)

Nel caso degli impianti fotovoltaici con accumulo, invece, l'impianto è collegato ad una batteria che permette di immagazzinare l'energia prodotta e usarla al momento del bisogno, durante la notte, nelle giornate invernali, o anche solo quando la richiesta di energia da parte dell'edificio è maggiore rispetto a quella prodotta dai pannelli solari. Occorre distinguere ulteriormente gli impianti off-grid in due tipologie:

- Stand alone: sono tipicamente di taglia molto piccola (inferiore a 3kW) ed installati in luoghi del tutto scollegati dalla rete elettrica nazionale per impossibilità o per scelta.
- Ibridi: hanno taglie di potenza che soddisfano i consumi di una famiglia media (4-8kW) e sono collegati alla rete elettrica ma solo per prelevare energia in via residuale ed in caso di bisogno. L'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici viene prima di tutto impiegata per soddisfare i consumi energetici assorbiti istantaneamente dalla casa. L'energia elettrica prodotta in eccesso durante le ore diurne viene accumulata dalla batteria per essere poi utilizzata nelle ore successive riducendo al minimo il prelievo dalla rete. [21]

Vantaggi e svantaggi di un impianto fotovoltaico con accumulo (stand alone):

Un impianto fotovoltaico con accumulo di tipo stand alone non si collega alla rete elettrica, per questo ha un'installazione più veloce, non necessita di certificazioni o procedure burocratiche per la connessione alla rete nazionale, garantisce energia elettrica anche in caso di blackout e offre un risparmio immediato sulla bolletta.

Di contro, però, se l'impianto non dovesse funzionare e finisse l'energia immagazzinata nelle batterie, non ci sarebbe più possibilità di accedere alla rete elettrica, con la conseguenza che l'edificio resterebbe privo di energia elettrica anche per lungo tempo. [\[20\]](#)

7.3 – Inverter

Un inverter è un apparato elettronico che ha la funzione di trasformare una corrente continua (DC) in corrente alternata (AC) a una determinata tensione e frequenza. Nel caso dello sfruttamento dell'energia solare si tratta di un tipo particolare di inverter progettato espressamente per convertire l'energia elettrica sotto forma di corrente continua, prodotta dal modulo fotovoltaico, in corrente alternata da immettere direttamente nella rete elettrica.

Nelle giornate con nuvolosità variabile, quelle in cui si verificano variazioni della potenza solare, si può apprezzare a pieno il ruolo dell'inverter. È in questi casi che la resa e la qualità degli inverter risultano fondamentali e un buon inverter può migliorare il rendimento dell'impianto fino al 5-10%.

Sono dotati di tecnologie che consentono di estrarre da pannelli solari la massima potenza disponibile in qualsiasi condizione meteorologica, questa funzione prende il nome di MPPT (Maximum Power Point Tracker) e indica la condizione di funzionamento dell'impianto fotovoltaico caratterizzata da efficienza ottimale, nella quale è possibile estrarre la massima potenza disponibile. [22]

Un inverter può svolgere svariati compiti:

1. Trasformazione con basse perdite: Una delle caratteristiche più importanti di un inverter è il suo grado di rendimento. Quest'ultimo indica quale percentuale dell'energia "immessa" sotto forma di corrente continua viene riemessa sotto forma di corrente alternata. Gli apparecchi moderni conseguono un grado di rendimento pari al 98%.
2. Ottimizzazione della potenza: La curva caratteristica dei moduli fotovoltaici dipende fortemente dalle condizioni di irraggiamento e di temperatura atmosferica che si modificano continuamente nell'arco della giornata. L'inverter per poter estrarre dai pannelli solari la potenza massima in ogni situazione deve pertanto trovare e mantenere costantemente il punto di funzionamento ideale sulla curva caratteristica di funzionamento dell'impianto fotovoltaico. Questo punto di funzionamento ottimale si chiama Maximum Power Point (MPP).

3. Monitoraggio e protezione: L'inverter monitora da un lato il rendimento dell'impianto FV e segnala la presenza di eventuali anomalie. Dall'altro lato si occupa del monitoraggio della rete di alimentazione alla quale è collegato. Per motivi di sicurezza deve dunque disinserire immediatamente l'impianto in caso di anomalia nella rete pubblica. Possiede anche un dispositivo in grado di interrompere in maniera sicura il flusso di corrente dai moduli fotovoltaici. Infatti, in caso di irraggiamento, essi si trovano sotto tensione. Se si interrompe il collegamento via cavo con l'inverter durante il funzionamento, possono verificarsi pericolosi archi elettrici. Integrando un dispositivo sezionatore direttamente nell'inverter, l'installazione e il cablaggio risultano decisamente più semplici. [23]

7.4 – Inverter con batterie di accumulo integrate

Nei tradizionali impianti fotovoltaici gli inverter hanno la sola funzione di convertire l'energia prodotta dai pannelli solari in corrente alternata utilizzabile dalle comuni utenze. In questi sistemi invece l'inverter, oltre ad avere il compito della conversione elettrica, ha il compito di stoccare parte dell'energia prodotta e di governare al meglio la gestione dei flussi di elettricità in entrata ed in uscita dai pannelli fotovoltaici.

Tutta l'energia prodotta, dunque, verrà gestita con diversi ordini di priorità: prima di tutto si favorisce l'autoconsumo istantaneo, quando non c'è richiesta di elettricità dalle utenze il sistema carica le batterie. Solo quando le batterie sono cariche il sistema provvede all'immissione in rete.

Viceversa, quando le utenze richiedono elettricità verrà data la priorità alla produzione istantanea fotovoltaica, quando i pannelli non producono verranno utilizzate le batterie (integrate o esterne all'inverter). Quando gli accumulatori sono scarichi il sistema preleva dalla rete elettrica esterna. [24]

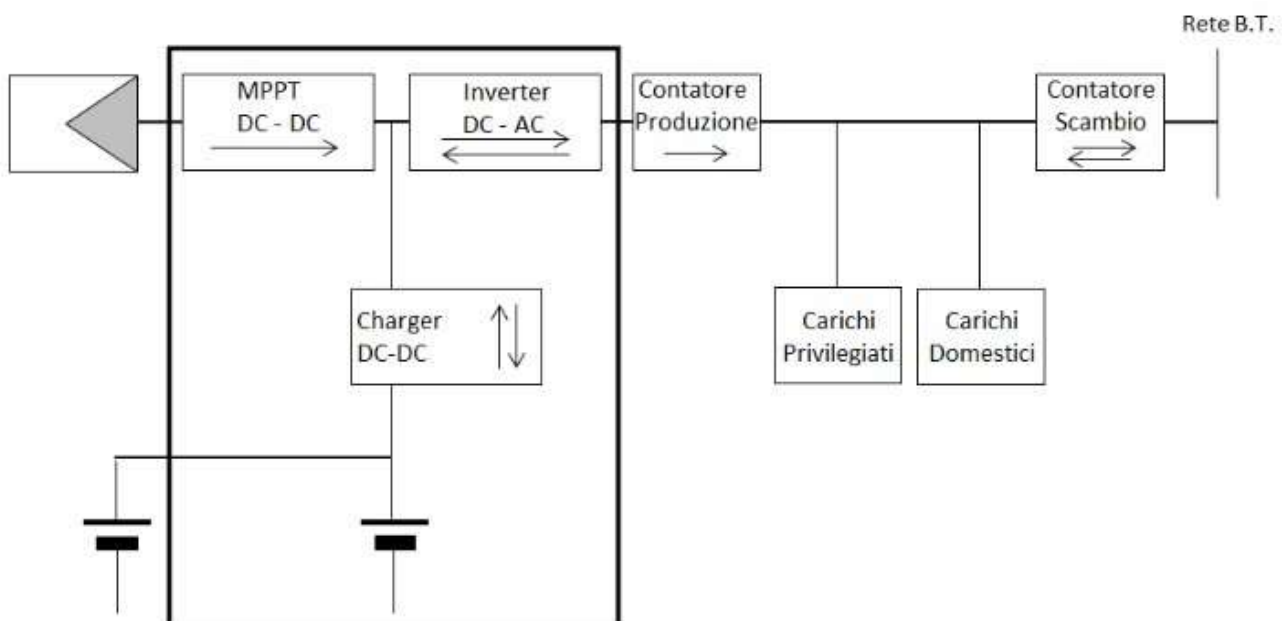


Figura 10

Impianto fotovoltaico dotato di inverter con accumulo elettrico

7.5 – Dimensionamento dell’impianto fotovoltaico

Il dimensionamento di un impianto si basa sull’energia consumata giornalmente e non sulla potenza delle utenze. Un apparecchio da 10W acceso per 24 ore ($10W \times 24h = 240Wattora/giorno$) consumerà molto di più rispetto che un trapano da 300W utilizzato per mezz’ora al giorno ($300W \times 0.5h = 150Wattora/giorno$).

Un parametro importante per un pannello fotovoltaico è la sua potenza nominale, cioè la potenza massima che il pannello eroga in condizioni ottimali (a mezzogiorno, rivolto verso sud, con irraggiamento solare di $1000W/mq$ e temperatura delle celle di $25^{\circ}C$). Ovviamente il sole non rimane nella condizione ottimale per tutto il giorno quindi si fa una stima attraverso il concetto di ore equivalenti: il numero di ore necessarie in condizioni di illuminazione e temperatura ottimali per produrre l’energia mediamente prodotta dall’impianto nell’arco di una giornata, in condizioni di illuminazione reale.

Per la latitudine italiana in inverno le ore equivalenti vengono approssimate a 2 mentre invece in estate si sale a circa 4. Nel caso di impianti off-grid, per una stima annua bisogna utilizzare il valore invernale per assicurare l’autonomia nella condizione di caso peggiore. A questo punto per dimensionare la potenza del campo fotovoltaico necessario ad alimentare l’abitazione basterà dividere il valore totale di energia giornaliera per le ore equivalenti. [\[25\]](#)

7.6 – Dimensionamento dell’impianto di accumulo

Una volta stabilito di includere le batterie nel proprio sistema fotovoltaico, occorre comprendere quale sia il corretto dimensionamento delle stesse.

Una batteria sottodimensionata, infatti, non consente di utilizzare l’energia prodotta ma non autoconsumata nelle ore notturne o nelle giornate nuvolose. Un sovradimensionamento dell’impianto di accumulo, per contro, comporta una spesa eccessiva rispetto alle reali potenzialità del sistema.

Come fatto in precedenza per dimensionare la taglia dell’impianto fotovoltaico, è necessario individuare il fabbisogno di energia della struttura. In questo caso però la stima non dovrà essere del fabbisogno giornaliero di energia ma solo del fabbisogno serale/notturno, ovvero quando l’impianto fotovoltaico non è in grado di supportare la richiesta di energia.

Sarà sufficiente dividere il fabbisogno complessivo notturno misurato in Wattora per la tensione della batteria espressa in Volt. Il risultato viene misurato in Amperora, unità con la quale si misura la capacità di una batteria. [\[26\]](#)

Bisogna inoltre considerare un’autonomia di carica della batteria nei giorni di maltempo, ipotizzando di calcolare 3 giorni di autonomia, il valore ottenuto in precedenza espresso in Ah dovrà essere moltiplicato per 3.

Una volta definita la taglia della batteria bisogna definire anche la tipologia, in generale esistono due grandi famiglie:

- Batterie al piombo e Batterie al piombo/gel: il sistema nel ciclo di "carica-scarica" si trattiene circa il 50% di energia (questo per evitare di danneggiare le batterie).

Le batterie al piombo/gel durano mediamente 5 anni e quelle al Piombo durano 2/3 anni.

Se la scelta ricade su questa tipologia di batterie il valore in Ah ottenuto in precedenza dovrà nuovamente essere diviso per un fattore 0.5 per considerare che la scarica arriverà solo fino al 50% del valore effettivo della batteria.

- Batterie al litio: per queste si considera l'80-90% di utilizzo. Questo tipo di batteria costa di più ma garantisce una maggiore durata rispetto a quelle al piombo, ed una maggiore efficienza. Garantiscono in genere 10/12 anni di funzionamento.

In questo caso il valore espresso in Ah dovrà essere diviso per un fattore di 0.8-0.9 (in base ai dati che rilascia il costruttore).

A questo punto moltiplicando i Volt per gli Amperora si ottiene la quantità di elettricità fornita dall'accumulatore, misurata in Wattora.

Spesso negli impianti vengono inseriti dei regolatori di carica per avere un controllo elettronico affidabile, in modo da non far scendere le batterie sotto il loro livello minimo di carica.

7.7 –Esempio reale dimensionamento impianto ibrido

Fonte di consumo	Consumo medio/anno
Illuminazione con lampade a basso consumo	260 kWh
Cucina elettrica classe A (forno+piano cottura)	350 kWh
Frigorifero classe A+++	175 kWh
Congelatore classe A+++	180 kWh
Lavatrice classe A	240 kWh
Lavastoviglie classe A	230 kWh
Televisione, PC, apparecchi audio e video	320 kWh
Piccoli apparecchi elettrici	450 kWh
Pompa di calore per impianti di riscaldamento	350 kWh
Altre fonti di consumo non indicate nella tabella	450 kWh
Tot. consumo medio/anno	3005 kWh

La stima del fabbisogno medio di elettricità di una famiglia di quattro persone è di circa 3000 kWh/anno che, suddiviso su base giornaliera, è di circa 8.2 kWh al giorno (cioè: 3000 diviso 365 gg).

In genere un impianto da 3kw è sufficiente a coprire il fabbisogno medio di energia elettrica per una famiglia.

Il numero di pannelli sufficienti a coprire questa potenza va approssimativamente dai 12 ai 14, ogni modulo in silicio cristallino infatti ha una potenza in uscita che va generalmente da 200 a 300 watt.

Considerando che ogni pannello è grande mediamente 1,5 metri quadrati, per 12-14 moduli fotovoltaici con buona efficienza sono necessari non più di 20 metri quadrati di superficie sul classico tetto a falde. [\[27\]](#)



Figura 11

Impianto fotovoltaico installato su un tetto a falde

Per scegliere la batteria che meglio si adatta alle esigenze bisogna considerare le 3 principali caratteristiche:

- Capacità – quanta energia elettrica è in grado di accumulare ed erogare [kWh];
- Potenza – velocità con cui la batteria riesce ad immagazzinare o rilasciare l'energia;
- Garanzia sul numero di cicli – il numero cicli minimo per i quali la batteria rimane nelle condizioni specificate dal costruttore.

Le migliori 3 batterie di accumulo in circolazione su cui poter fare al momento un confronto sono:

1) LG Chem RESU10H 400V

Modelli disponibili:

- Alta tensione 400V 7 – 10 kWh
- Bassa tensione 48V 3,3 – 6,5 – 10 kWh

Specifiche:

- profondità di scarica n.d.
- dimensioni (HxLxP) 91 x 75 x 21 cm
- capacità 10 kWh
- potenza 7 kW di picco / 5 kW continui
- efficienza 95%
- garanzia 10.000 cicli
- temperatura di esercizio 0°C / 40°C
- peso 100 Kg

2) Tesla Powerwall 2

Modelli disponibili:

- Taglia unica 13,5 kWh

Specifiche:

- profondità di scarica 100%
- dimensioni (HxLxP) 115 x 75 x 15 cm
- capacità 14 kWh
- potenza 7 kW di picco / 5 kW continui
- efficienza 90%
- garanzia cicli n.d.
- temperatura di esercizio – 20°C / 50°C
- peso 122 Kg

3) Varta Element

Modelli disponibili:

- Varta Element 3,2 kWh
- Varta Element 6,4 kWh
- Varta Element 9,6 kWh

Specifiche:

- profondità di scarica 90%
- dimensioni (HxLxP) 118 x 60 x 50 cm
- capacità 6,4 kWh
- temperatura di esercizio 5°C / 30° C
- peso moduli batteria incl. 145 Kg ^[28]

Si sceglie di procedere utilizzando la batteria d'accumulo Tesla Powerwall 2 perché quella con maggiore capacità in modo da richiedere il meno possibile l'intervento della rete elettrica nazionale.

Attraverso l'utilizzo di un *simulatore online*^[SIM] che usa un profilo di consumo giornaliero domestico con la maggior parte del consumo durante la sera, si possono stimare i valori di funzionamento dell'impianto:

Luogo: Cesena

44°8'22" Nord, 12°14'47" Est,

Quota: 42 m.s.l.m.,

Potenza nominale del sistema FV: 3000 W

Inclinazione dei moduli: 45°

Capacità batteria Tesla powerwall 2: 400 V, 14 Ah

Limite scaricamento: 5%

Consumo di giorno: 8200 Wh

Numero di giorni usati per il calcolo:	1827
Percentuale di giorni con batteria completamente carica	73%
Media di energia non raccolta perchè batteria piena:	5263Wh/giorno
Percentuale di giorni con batteria completamente scarica:	100%
Media di energia mancante:	1431Wh/giorno

Mediamente in una giornata si immettono quindi 5.2 kWh nella rete pubblica nazionale mentre invece si prelevano 1.4 kWh/giorno. Considerando che il prezzo di vendita è nettamente inferiore a quello di acquisto, non ci sarà un vero e proprio guadagno in termini economici.

I grafici e tabelle sotto riportati mostrano la stima di energia elettrica prodotta al giorno, di mese in mese, da un sistema FV autonomo con le caratteristiche richieste. Mostra anche la media annuale di produzione giornaliera di energia.

Mese	E_d	F_f	F_e
Gen	5162	44	99
Feb	6059	62	100
Mar	6712	72	100
Apr	7234	79	100
Mag	7523	84	100
Giu	7534	82	100
Lug	7952	95	99
Ago	7845	95	100
Set	7304	82	100
Ott	6866	77	100
Nov	5770	52	100
Dic	5231	50	100
Anno	6768		

E_d : Produzione di energia media al giorno (Wh/giorno)

F_f : Percentuale di giorni con batteria pienamente carica (%)

F_e : Percentuale di giorni con batteria completamente scarica (%)

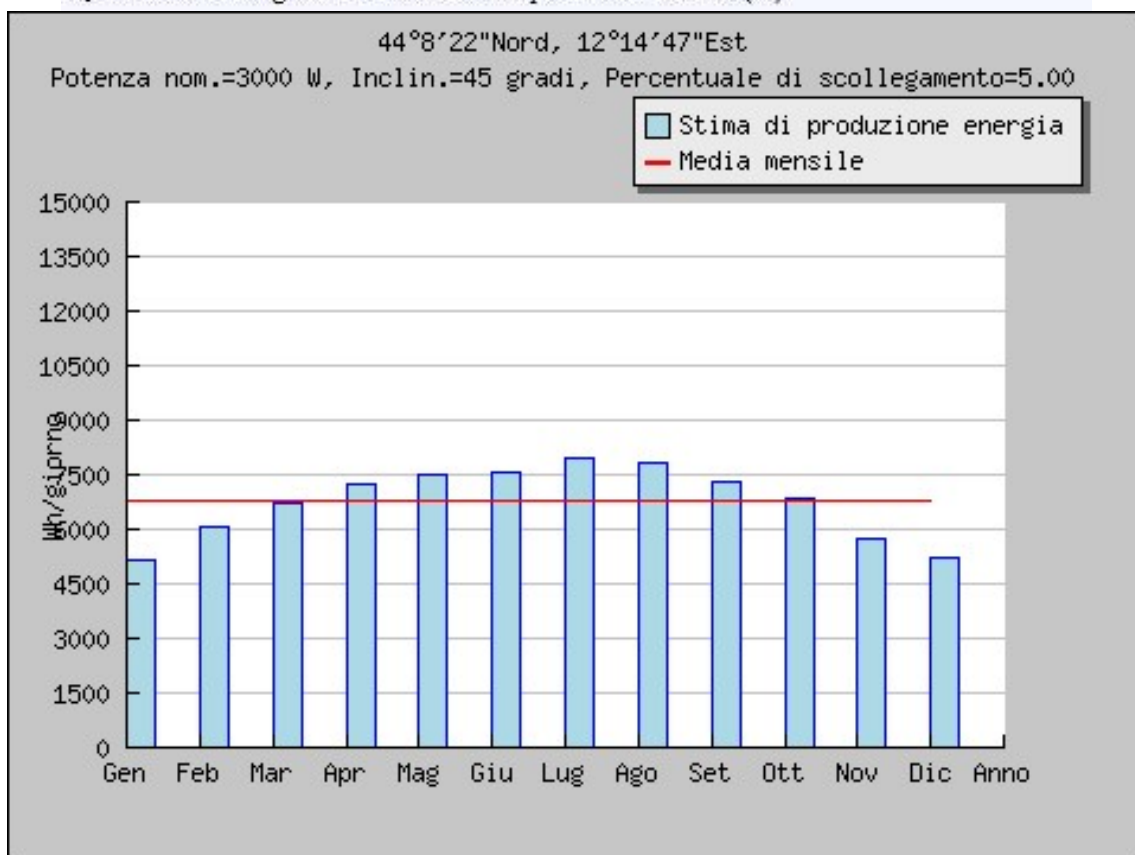


Figura 12

Grafico sulla stima di produzione di energia mensile di un impianto fotovoltaico

C_s	C_b
05-14	33
14-24	8
24-33	6
33-43	4
43-52	4
52-62	4
62-71	3
71-81	5
81-90	6
90-100	22

C_s : Stato di caricamento alla fine di ogni ora (%)
 C_b : Percentuale di ore con questo stato (%)

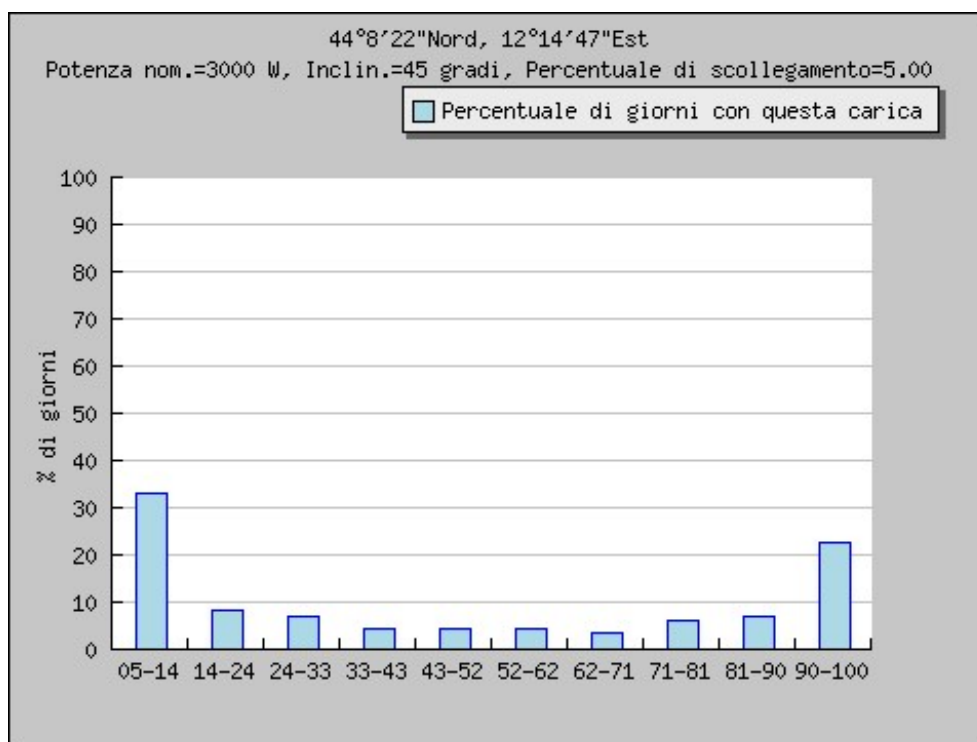


Figura 13

Grafico sulla stima di produzione di energia mensile di un impianto fotovoltaico

Il calcolo del rendimento del sistema si basa su dati di irraggiamento solare per ogni ora in un periodo di 5 anni. La stima dell'efficienza di sistema è del 70%. [SIM]

7.8 – Esempio reale dimensionamento impianto Stand alone

L'impianto Stand alone viene utilizzato principalmente per alimentare le utenze che si trovano in posizione relativamente isolata, come un rifugio di montagna o una casa di campagna. In questo tipo di utenze, infatti, l'allacciamento alla rete elettrica pubblica potrebbe risultare impossibile o eccessivamente dispendioso e l'impianto ad isola rappresenta un'opzione assolutamente efficiente, economica ed ecologica.

Anche in ambito urbano l'impianto Stand alone può trovare applicazione sebbene sia consigliabile un'analisi sulla convenienza che deve necessariamente tenere in conto del costo dei sistemi di accumulo, indispensabili in questo tipo di impianto.

Completando idealmente il disegno di indipendenza dalla rete elettrica e per quanto le batterie consentano di sfruttare l'energia solare anche nelle ore notturne, l'attuale costo di mercato dei sistemi di accumulo rappresenta una voce piuttosto onerosa, soprattutto dal punto di vista dell'investimento iniziale. ^[29]

Per mettere a confronto le due tipologie di impianto, come per quello ibrido si considera un consumo giornaliero di circa 8000 Wh e l'utilizzo di batterie Tesla powerwall da 400V.

Dividendo il consumo elettrico giornaliero (Wh) per la tensione della batteria (V) si ottiene la corrente totale giornaliera (Ah) che le batterie devono erogare: $8000/400=20\text{Ah}$.

La corrente elettrica giornaliera viene moltiplicata per un fattore 1,2 per tenere conto delle perdite elettriche nei cicli di carica/scarica. Inoltre, dato che l'impianto deve avere un'autonomia di 2 giorni, il valore di corrente deve essere moltiplicato anche per questo fattore: $20 * 1,2 * 2 = 48 \text{Ah}$.

L'irraggiamento del sole varia notevolmente nel corso dell'anno (oltre che durante la giornata), è elevato d'estate ma piuttosto basso d'inverno: occorre quindi dimensionare l'impianto sulla base dell'irraggiamento giornaliero minimo, optando per una inclinazione dei moduli che massimizzi la produzione invernale, quando il sole è relativamente basso sull'orizzonte.

Tramite il sito del JRC (Joint Research Center)^[SIM], inserendo i parametri sopra citati, si possono stimare i kWh prodotti dall'impianto Stand alone in un anno.

Simulazione:

Potenza nominale del sistema FV: 1.0 kW (silicio cristallino)

Stime di perdite causate da temperatura e bassa irradianza: 10.3%

Stima di perdite per effetti di riflessione: 2.7%

Altre perdite (cavi, inverter, ecc.): 14.0%

Perdite totali del sistema FV: 24.9%

Sistema fisso: inclinazione=45°, orientamento=0° (Sud)				
Mese	E_d	E_m	H_d	H_m
Gen	1.81	56.1	2.24	69.4
Feb	2.96	82.9	3.70	104
Mar	3.79	117	4.87	151
Apr	4.01	120	5.32	160
Mag	4.29	133	5.81	180
Giu	4.37	131	6.04	181
Lug	4.67	145	6.56	203
Ago	4.40	136	6.21	192
Set	4.00	120	5.45	163
Ott	2.96	91.9	3.90	121
Nov	2.04	61.3	2.61	78.2
Dic	1.88	58.4	2.33	72.3
Media annuale	3.43	104	4.59	140
Totale per l'anno		1250		1680

E_d: Produzione elettrica media giornaliera dal sistema indicata (kWh)

E_m: Produzione elettrica media mensile dal sistema indicata (kWh)

H_d: Media dell'irraggiamento giornaliero al metro quadro ricevuto dai pannelli del sistema (kWh/m²)

H_m: Media dell'irraggiamento al metro quadro ricevuto dai pannelli del sistema (kWh/m²) [\[SIM\]](#)

La produzione elettrica più bassa si ha nel mese di gennaio, in cui mediamente è di 1,81 kWh al giorno.

Poiché $W = V \times I$, l'impianto dovrà produrre $400 \text{ V} \times 48 \text{ Ah} = 19200 \text{ Wh} = 19,2 \text{ kWh}$ al giorno. Dato che 1 kW produce almeno 1,81 kWh al giorno, il numero di kW dell'impianto dovrà essere di $19,2 \text{ kWh} : 1,81 \text{ kWh/kW} = 10,6 \text{ kW}$.

Dividendo tale potenza per quella nominale di un singolo modulo, che si ipotizza essere di 300 W, si ottiene il numero di pannelli necessari che devono essere acquistati e collegati fra loro in serie/parallelo: $10600 : 300 = 35$, corrispondenti ad un'area di circa 53mq. ^[30]

I calcoli dimostrano che per avere un impianto totalmente disconnesso dalla rete nazionale bisognerebbe installare un impianto di taglia molto elevata per poter supportare il fabbisogno di una semplice abitazione.

Conclusioni:

In una zona urbana è consigliata l'installazione di un impianto ibrido, che permette di rivendere al gestore di rete l'energia prodotta in eccesso e comprarne una minima parte solo nel momento del bisogno.

Viceversa, gli impianti di tipo stand alone sono consigliati per abitazioni con un consumo di corrente molto ridotto e/o situate in zone difficilmente raggiungibili dalla rete elettrica nazionale.

8 – OMBREGGIATURA

La passivhaus è stata progettata per ottenere il massimo guadagno di calore esponendo le vetrate verso Sud con l'intento di fornire almeno il 50% del riscaldamento dell'edificio. Mentre questo funziona bene nei mesi invernali diventa eccessivo durante i mesi estivi dove su una finestra possono piovere fino a 1000 Watt di potenza termica di calore. Un normale impianto di VMC (ventilazione meccanica controllata, illustrato a pag. 55) è in grado di dare al massimo circa 3500 Watt di raffrescamento per l'intera abitazione. È quindi indispensabile installare un adeguato sistema di ombreggiatura per evitare che le radiazioni colpiscano direttamente le vetrate esposte.

[31]

Partendo dal dato di una classica finestra senza sistema di ombreggiatura che consente all'80% del guadagno solare termico di penetrare all'interno dell'abitazione, esistono due possibili livelli di intervento:

- Finestra con ombreggiatura interna: blocca fino al 50% del guadagno termico in ingresso;
- Finestra con ombreggiatura esterna: blocca fino all'85% del guadagno termico in ingresso. [32]

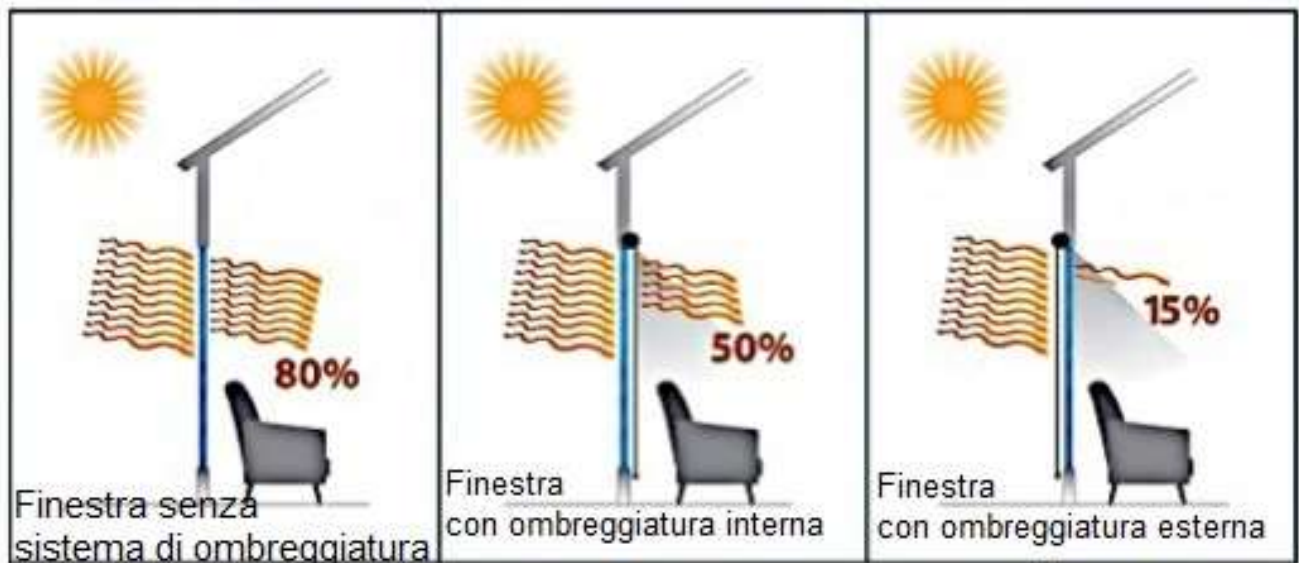


Figura 14

Efficienza dei diversi tipi di ombreggiatura

Data l'ampia varietà di condizioni atmosferiche e la vasta gamma di edifici, non esiste un vero e proprio standard per la progettazione di dispositivi di ombreggiamento. Sarà il progettista a valutare caso per caso ed installare il sistema più adatto considerando anche le caratteristiche del paesaggio, come la presenza di alberi, siepi o palazzi nelle vicinanze che possono avere una notevole incidenza sul sistema. [33]

8.1 – Ombreggiatura automatica

La progettazione del sistema di ombreggiatura generalmente viene divisa in due parti: la prima è quella esterna e fissa, definita dal progettista in base alla posizione e all'orientamento della casa, la seconda invece è variabile. La variabilità è data da scuroni, veneziane o tende gestite in modo semi-automatico da una centralina che comanda motori a 230V in corrente alternata fino a 500W di potenza dotati di fine corsa automatici.

Le centraline di ultima generazione utilizzano l'innovativa decodifica a codice variabile: questa scelta le rende sicure, facilmente espandibili, con installazione veloce ed intuitiva.

La logica offre la possibilità di gestire:

- dati rilevati dall'anemometro sulla velocità del vento
- intensità della luce per mezzo del sensore di luminosità
- informazioni acquisite dal sensore pioggia (pluviometro)
- posizione dell'apertura parziale della tenda.

Tali controlli permettono di aprire e/o chiudere la tenda in modo completamente automatico, in base alle condizioni atmosferiche presenti in quel momento.

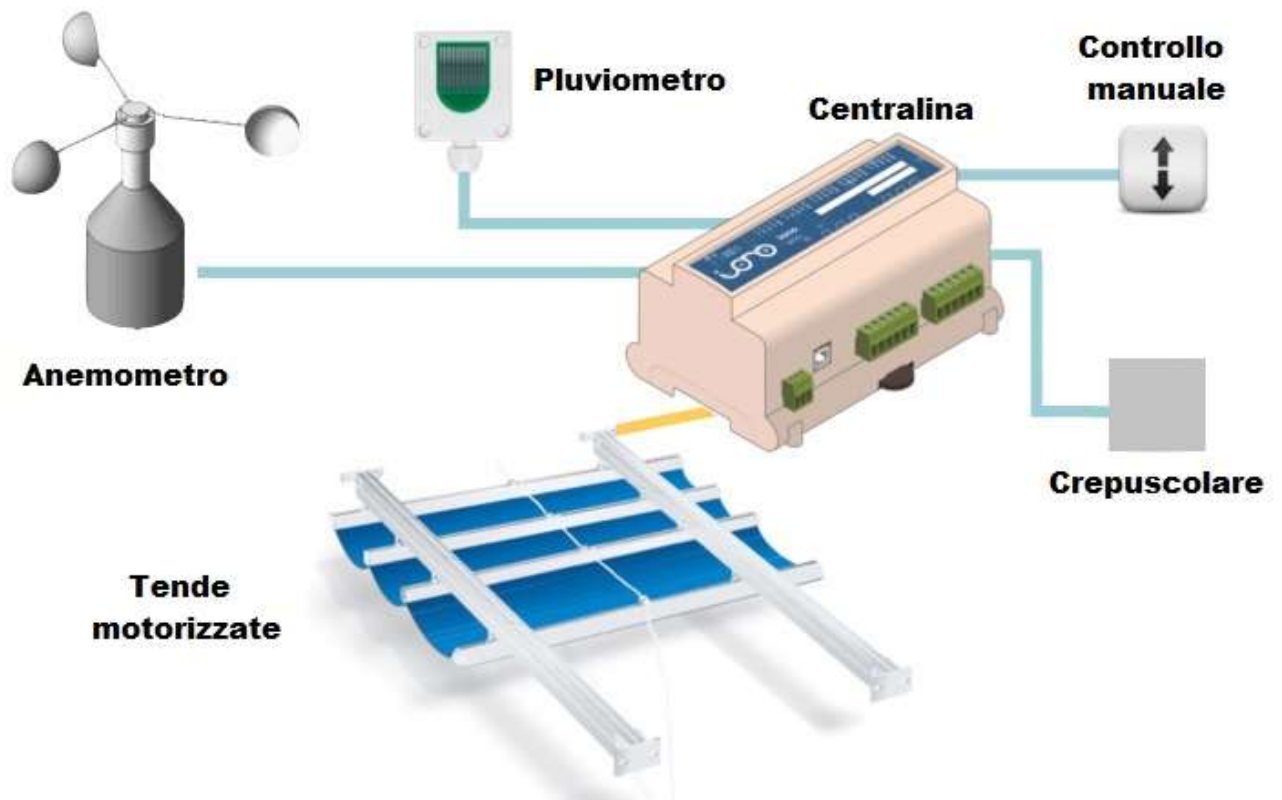


Figura 15

Componenti del sistema di ombreggiatura automatico

8.2 – Ombreggiatura manuale

Naturalmente con la tecnologia attuale il sistema potrebbe essere totalmente autonoma. Dato che ogni utente ha esigenze differenti, si lascia la possibilità di scelta per garantire il massimo confort in tutte le situazioni. Attraverso switch o palmari è possibile quindi gestire l'apertura o la chiusura delle tende nel caso in cui il software non stia fornendo il massimo confort soggettivo.



Figura 16

Controllo touch screen manuale per apertura/chiusura tende

9 – VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA (VMC)

L'impianto di ventilazione è un sistema indispensabile per il corretto ricambio dell'aria in tutti gli ambienti abitativi, ma soprattutto per conservare la temperatura costante in tutti i periodi dell'anno.

In questo modo gli impianti di riscaldamento e di climatizzazione verranno utilizzati il meno possibile facendo sì che l'abitazione si autosostenga energeticamente.

In precedenza si è parlato di muri altamente isolanti e di finestre con doppi o tripli vetri: questo non significa che la tipologia di casa passiva si presenti ai suoi residenti come una scatola che non consenta un ricambio d'aria.

Il sistema di ventilazione permette di far circolare nell'abitazione aria pulita e non inquinata, ideale anche per chi soffre di malattie respiratorie, allergie, raffreddori stagionali. ^[34]

9.1 – Ventilazione con recupero di calore

L'impianto di ventilazione è indispensabile per il ricambio d'aria in una casa passiva, poiché se si utilizzasse l'aerazione attraverso le finestre il desiderato risparmio energetico non sarebbe più possibile. L'obiettivo dell'impianto è quindi quello di perdere naturalmente il minor quantitativo possibile di energia prodotta: per questo si predispone solitamente un impianto a ventilazione con recupero di calore alimentato con un motore ad alta efficienza. Gli impianti di ventilazione delle case passive sono silenziosi, altamente efficienti e necessitano di poca energia elettrica (circa 40-50 Watt).

L'aria calda in uscita, dalla cucina e dal bagno, viene convogliata verso uno scambiatore a flusso, dove l'aria fredda proveniente dall'esterno riceverà dall'80% al 95% del calore di quella uscente. Questi due flussi d'aria in direzioni opposte ovviamente non verranno mai a contatto tra loro: l'aria in ingresso, pulita e filtrata, non verrà inquinata da quella viziata in uscita ma assorbirà soltanto il suo calore. L'aria di alimentazione verrà così ridistribuita all'interno dei locali, prelevata dagli ambienti più caldi (cucina e bagno) verso gli ambienti più freddi (soggiorno e camere da letto).

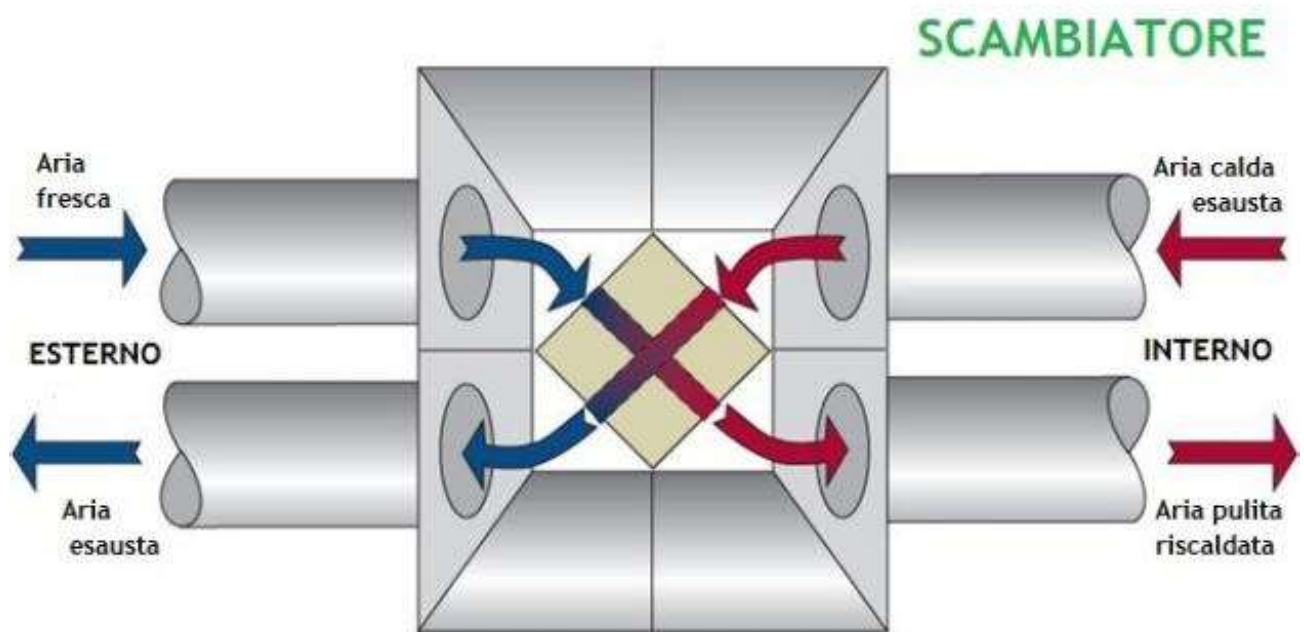


Figura 17

Scambiatore di calore

L'impianto di ventilazione viene implementato nella struttura dell'edificio in modo tale che nessuna corrente d'aria risulti percepibile nei vari ambienti; questo permette di avere in estate un flusso d'aria sufficientemente fresco da non necessitare dell'impianto di aria condizionata, in inverno un flusso d'aria calda per ridurre al minimo l'utilizzo dell'impianto di riscaldamento. [35]



Figura 18

Impianto di ventilazione meccanica controllata

9.2 – Pompa di calore

Tramite lo scambiatore nei casi più efficienti si riesce a recuperare fino al 95% del calore per ogni ciclo. Anche nel caso migliore quindi c'è una minima dispersione di calore che per ogni ciclo di lavoro porta a una perdita costante di energia.

Per pareggiare il bilancio energetico si utilizza una pompa di calore.

La pompa di calore è una macchina termodinamica che opera tra due sorgenti: quella fredda (il sottosuolo, l'acqua o l'aria), dalla quale il calore viene prelevato a bassa temperatura e quella calda (l'abitazione da scaldare), verso la quale il calore viene ceduto a temperatura più alta. ^[38]

Funzionamento:

Un fluido termovettore circola all'interno di un percorso chiuso ed ha il compito di trasportare e trasmettere l'energia termica.

Il guadagno energetico tipico delle pompe di calore deriva quindi dall'evaporatore.

Il nome evaporatore deriva dal fatto che il fluido refrigerante liquido va in ebollizione, in altre parole evapora diventando gassoso a temperature molto basse e nel frattempo assorbe energia dall'ambiente.

A questo punto il fluido refrigerante viene compresso nel compressore che ne diminuisce il volume. Durante questo processo aumenta la pressione e di conseguenza la temperatura del fluido refrigerante.

Il fluido refrigerante caldo passa al condensatore riscaldando l'aria proveniente dall'esterno. Questo è uno scambiatore nel quale l'energia assorbita dall'ambiente viene trasmessa al sistema di riscaldamento.

Nel processo di raffreddamento il fluido termovettore passa allo stato liquido. Mediante la valvola di espansione viene diminuita la pressione e il fluido assorbe nuovamente energia termica dall'ambiente. Il ciclo quindi riprende da capo. [36]

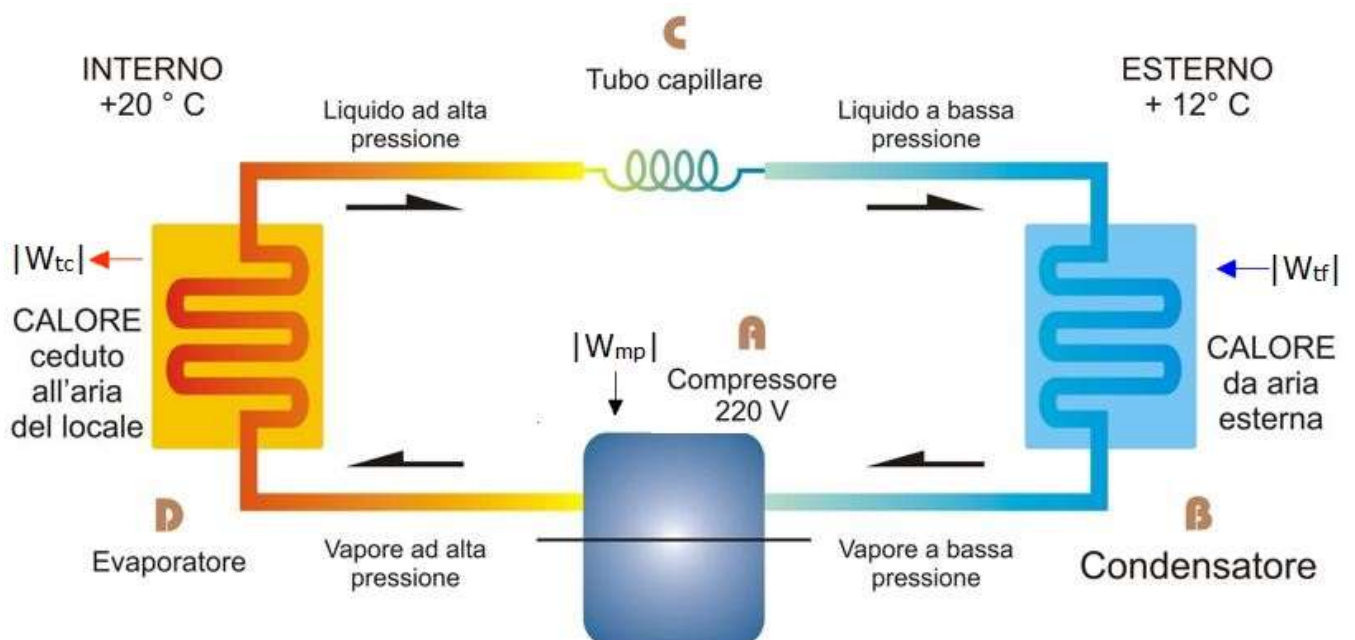


Figura 19
Pompa di calore

10 – SISTEMA GEOTERMICO

10.1 – Geotermico "in serie" alla VMC

L'energia geotermica è l'energia che si trova nel sottosuolo sotto forma di calore. A circa 15-20 m dalla superficie del terreno si ha una zona a temperatura costante in cui il calore è fornito esclusivamente dal flusso termico proveniente dall'interno della Terra, con un incremento medio progressivo di 1 °C ogni 33 m di profondità.

In particolare, ad una profondità di 1.2-1.5m, si osservano temperature che nell'arco dell'anno variano tra 7 e 13 °C, mentre a circa 18 m si rileva una temperatura di 10 °C che resta costante per tutto l'anno. [37]

Funzionamento:

Il sistema geotermico per il riscaldamento dell'aria non è altro che un percorso di tubi interrato orizzontalmente dove viene fatto scorrere il flusso d'aria proveniente dall'esterno prima che raggiunga lo scambiatore, per un ulteriore riscaldamento dell'aria in entrata. La lunghezza e la profondità alla quale viene installato il sistema sono definite dal progettista in base al volume e alla posizione geografica dell'abitazione, la profondità alla quale installarlo è direttamente proporzionale alla rigidità del clima esterno. Solitamente l'impianto può andare dai 5 ai 20 metri sotto terra. [38]



Figura 20
Pompa di calore geotermica orizzontale

Esempio pratico:

Temperatura desiderata all'interno dell'abitazione: 20°C

Stagione: Inverno

Temperatura esterna: 0°C

L'aria esterna entra nel sistema geotermico e per alcune perdite lungo il percorso arriva allo scambiatore con una temperatura di 10-11°C. Con un rendimento dell'80% all'interno dello scambiatore la temperatura sale circa a 16°C.

A questo punto tramite un utilizzo minimo della pompa di calore (che in questo caso scambia calore con il terreno attraverso il fluido termovettore ed è alimentata dai pannelli fotovoltaici) si innalza la temperatura fino a 20°C e la si introduce all'interno dell'abitazione garantendo il massimo confort.

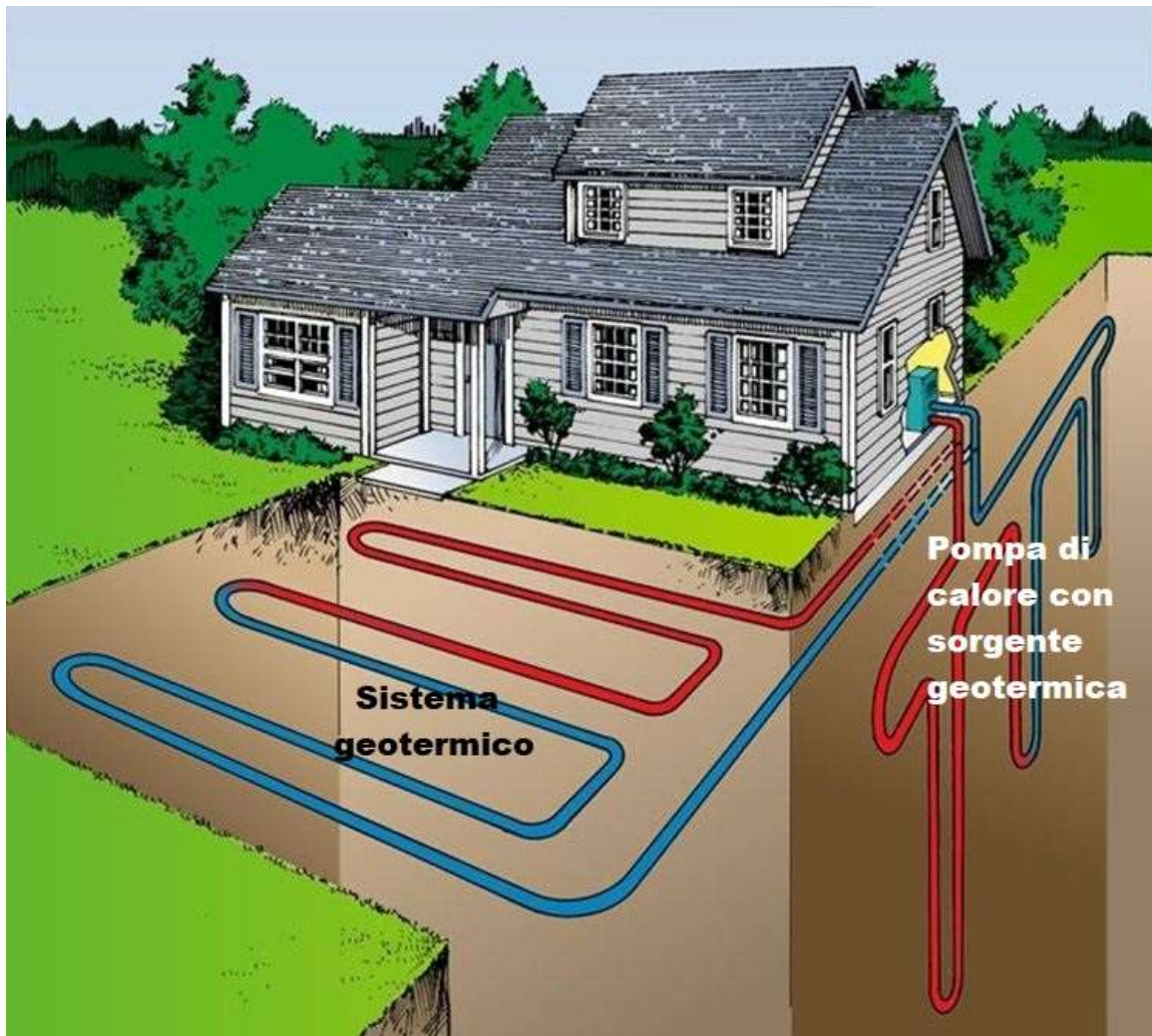


Figura 21
Pompa di calore geotermica "in serie" alla VMC

La pompa di calore geotermica ha un duplice utilizzo, può essere usata per riscaldare d'inverno e, invertendo il ciclo, per rinfrescare d'estate.

Con un semplice impianto geotermico quindi si elimina l'utilizzo del riscaldamento d'inverno e della climatizzazione d'estate andando ad abbassare notevolmente i consumi e i costi rispetto ad una normale abitazione.

10.2 – Geotermico per riscaldamento dell'acqua sanitaria

Il sistema prevede lo scambio di calore con il sottosuolo attraverso l'immissione nel terreno di una sonda geotermica realizzata in materiale plastico e inserita in un pozzo di pochi centimetri a profondità variabile dai 70 ai 150 metri, scavato accanto all'abitazione, invisibile dopo la costruzione: il tutto anche nello spazio contenuto di un giardino o di un cortiletto.

Il sistema è applicabile in qualsiasi tipo di sottosuolo. Si possono realizzare impianti in montagna, in pianura, al mare, in città, in campagna, proprio perché la temperatura del sottosuolo è ovunque costante e sfruttabile per tutto l'arco dell'anno.

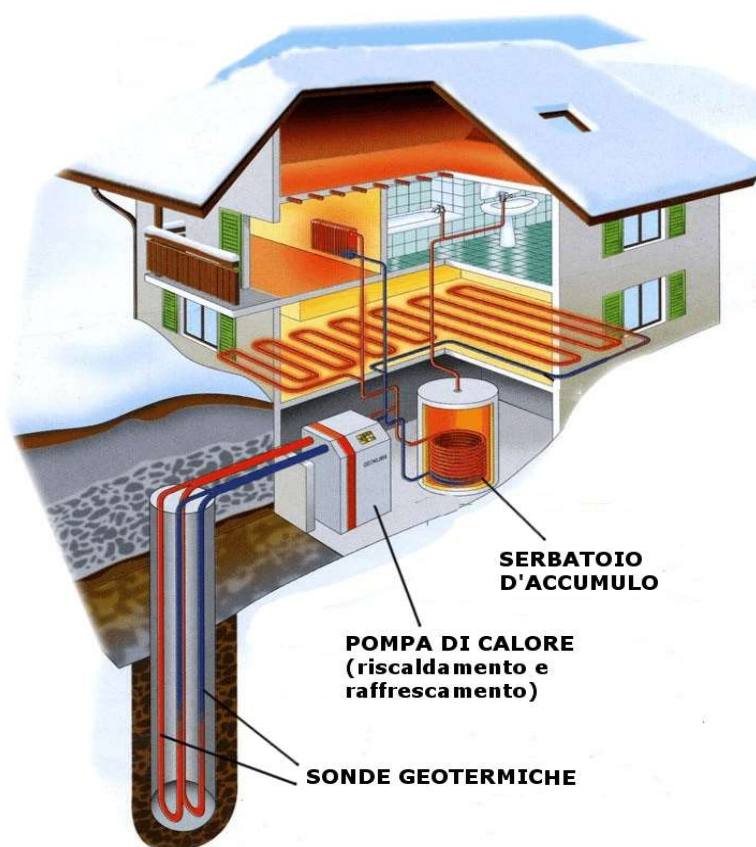


Figura 22
Sonda geotermica verticale

Questa tipologia di impianto è già presente in alcune abitazioni a basso consumo che la sfruttano per far circolare il fluido termovettore nel sistema di riscaldamento a pavimento o nei radiatori. Nella casa passiva come sistema di riscaldamento si utilizza la VMC quindi il sistema geotermico con sonda in profondità viene utilizzato esclusivamente per il riscaldamento dell'acqua sanitaria.

La pompa di calore geotermica, attraverso uno speciale fluido frigorifero che circola in un circuito interno chiuso, permette di prelevare il calore da una sorgente fredda a bassa temperatura (il terreno) e rilasciarlo ad una temperatura più alta (accumulo di acqua calda sanitaria).

Il trasferimento di calore non avviene in modo spontaneo, ma richiede l'introduzione nel ciclo di una certa quantità di lavoro che per le pompe di calore coincide con l'energia elettrica assorbita dal compressore.

I sistemi pompa di calore-terreno sono molto convenienti dal punto di vista energetico, non solo per l'utente finale ma anche per il sistema energetico globale, in quanto con 1kWh di energia elettrica (in questo caso fornita dai pannelli fotovoltaici) si producono almeno 4 kWh di energia termica. [\[37\]](#)

La pompa di calore abbinata ad una sonda geotermica verticale permette di raggiungere una temperatura di circa 55÷60 °C per la produzione di acqua calda sanitaria.

Scegliere un sistema a pompa di calore abbinato a sonda geotermica verticale significa preferire un'installazione pulita, con impianti molto efficienti dal punto di vista del comfort ambientale e che non producono emissioni di CO₂ e di gas ad effetto serra nell'atmosfera. Con l'impianto geotermico è drasticamente ridotto anche l'inquinamento dell'ambiente domestico: niente fumi o residui di gas incombusti pericolosi come il monossido di carbonio.

L'impianto a pompa di calore geotermica, se correttamente dimensionato, è completamente autonomo ed è in grado di soddisfare al 100% le richieste dell'edificio: tutto senza necessità di revisioni annuali o controllo dei fumi. [\[39\]](#)

11 – PANNELLI SOLARI TERMICI

In alternativa al sistema geotermico verticale per riscaldare l'acqua sanitaria si possono utilizzare dei pannelli solari termici. Esiste una sostanziale differenza tra pannelli solari termici e pannelli fotovoltaici, essi hanno funzionamenti completamente diversi:

Il pannello fotovoltaico cattura l'energia del sole per produrre energia elettrica utile per l'illuminazione e per gli elettrodomestici.

Il pannello solare termico cattura l'energia del sole per produrre acqua calda sanitaria. I pannelli solari termici, come suggerisce il nome, sfruttano il calore del sole per la produzione di acqua calda senza alcun aiuto di luce e gas. La stagione ideale per ottenere la massima resa da questo sistema è l'estate perché l'acqua può raggiungere temperature fino ai 70°, ben al di sopra dei 40-45° che di norma si utilizzano per una doccia.

Un sistema con pannelli solari termici è composto da:

- Uno o più pannelli che catturano l'energia del sole;
- Il serbatoio di accumulo dell'acqua calda;
- Una pompa per la circolazione dell'acqua;
- Una caldaia a condensazione. ^[40]

I pannelli solari termici si possono suddividere in due categorie d'impianto, basandosi sul metodo di circolazione dell'acqua dal serbatoio al rubinetto di casa:

1) Impianti solari a circolazione naturale:

Gli impianti solari a circolazione naturale sono sistemi a circuiti chiuso, che funzionano a scambio indiretto e, non avendo

pompe e componenti elettronici, necessitano di minima manutenzione. Nei tubi del collettore solare passa un fluido (glicole propilenico) che, esposto alle radiazioni solari, si scalda, diventa più leggero (si riduce la sua densità) e sale per convezione (effetto termosifone) verso il serbatoio.

Il fluido, attraverso un'intercapedine del serbatoio, cede il calore all'acqua in esso contenuta, che confluisce nel circuito sanitario dell'utenza. Il glicole propilenico è atossico e, chiuso in un circuito sigillato, protegge tutto l'impianto dal rischio di congelamento.

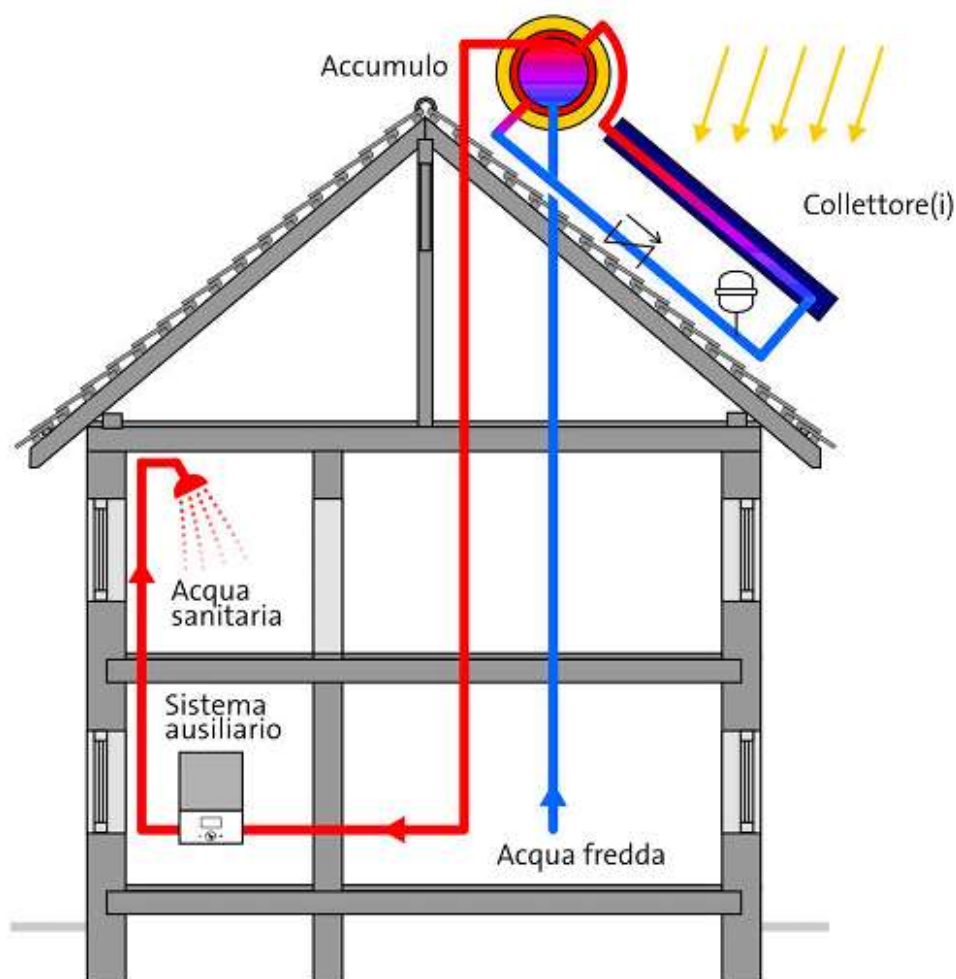


Figura 23
Impianto solare termico con circolazione naturale

2) Impianti solari a circolazione forzata:

Gli impianti solari a circolazione forzata si differenziano da quelli a circolazione naturale, perchè la circolazione del fluido termovettore avviene grazie ad una pompa comandata dalla centralina. Il calore dei pannelli solari è quindi trasportato al serbatoio tramite un circuito riempito di acqua glicolata (per evitare il gelo in caso di temperature rigide e assenza di sole). Il sistema di regolazione elettronico ha il compito di confrontare la temperatura nell'accumulatore (T1) con quella dei collettori (T2). Se T2 è maggiore di T1, la pompa di circolazione viene avviata. Il fluido termovettore, passando attraverso delle tubazioni isolate termicamente, arriva all'accumulatore, nel quale è presente uno scambiatore che consente il trasferimento del calore dal fluido all'acqua contenuta nel serbatoio.

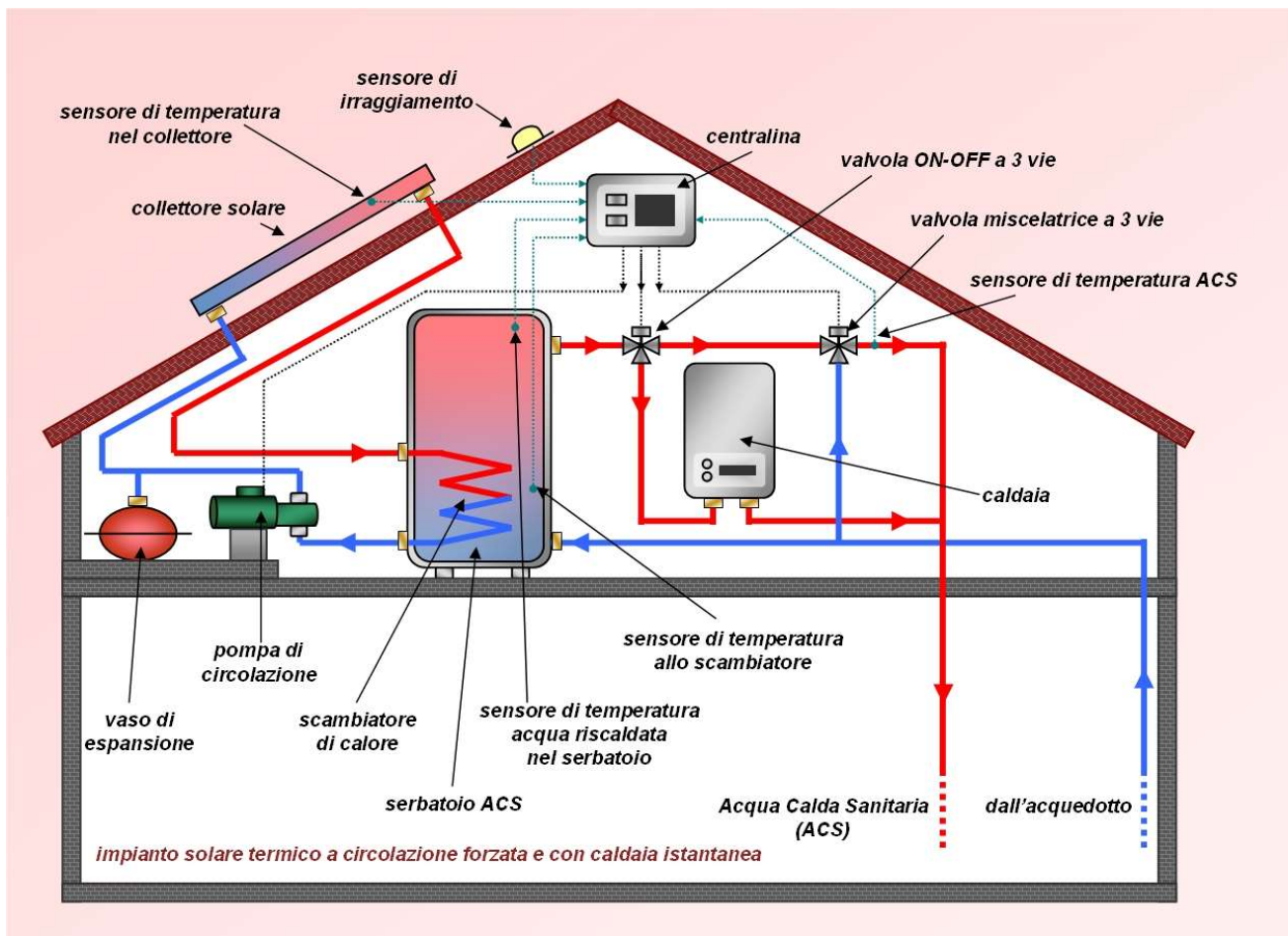


Figura 24
 Impianto solare termico con circolazione forzata

Se l'apporto energetico proveniente dal circuito solare è insufficiente, oppure si verifica un elevato consumo di acqua calda, la temperatura nella parte superiore dell'accumulatore scende sotto un certo livello e allora la centralina elettronica comanda l'inserimento del sistema di riscaldamento ausiliario. Questo può essere termico (di solito gas, gasolio o legna) oppure elettrico (resistenza elettrica, privilegiata nei mesi estivi). [41]

12 – CONCLUSIONI

In una classica abitazione il maggior consumo è imposto dal riscaldamento, come riportato dal grafico seguente:



Figura 25

Grafico sui consumi medi di un'abitazione standard

In una passivhaus, grazie ai sistemi studiati in precedenza, si può arrivare ad eliminare quasi il 100% dei consumi illustrati dal grafico. Il 2% della luce e l'11% delle apparecchiature vengono eliminati grazie all'utilizzo dell'impianto fotovoltaico.

Il 12% per il riscaldamento dell'acqua sanitaria si può eliminare grazie al sistema di recupero annesso ai pannelli termici.

Infine il 75% dei consumi per il riscaldamento si possono abbattere grazie al sistema di ventilazione meccanica controllata con pompe di calore alimentate dai pannelli fotovoltaici, arrivando ad un'abitazione con consumi tendenti sempre più allo zero.

13-Bibliografia

- [1] Marco Mancini in ecologiae.com, *“La storia della casa passiva”*, 2011.
Link: www.ecologiae.com/storia-casa-passiva/46212/
- [2] Jove.it, *“NZEB – Il futuro dell’edilizia nel 2020”*, 2016.
Link: <http://jove.it/nzeb-il-futuro-delledilizia-dal-2020/>
- [3] Baltera.com, *“La casa passiva: definizione, storia e caratteristiche”*.
Link: <http://www.baltera.com/blog/risparmio-energetico/casa-passiva-storia-caratteristiche/>
- [4] Carmine in bagno90.com, *“Differenza tra una casa a basso consumo energetico e una casa passiva”*, 2015.
Link: <http://bagno90.com/differenza-tra-una-casa-a-basso-consumo-energetico-e-una-casa-passiva/>
- [5] ProgettiPedroni.it, *“Casa passiva e case a energia quasi zero”*, 2013.
Link: www.progettipedroni.it/casa-passiva-case-energia-quasi-zero/
- [6] Sassobrigghi.com, *“Cos’è il carico termico?”*, 2016.
Link: <https://www.sassobrigghi.com/cose-il-carico-termico/>
- [7] Edilidee.it, *“La casa passiva: caratteristiche ed esempi progettuali”*, 2012.
Link: <http://www.edilidee.it/costruzione/la-casa-passiva.html>
- [8] Jove.it, *“Il progetto della casa passiva”*, 2017.
Link: <http://jove.it/casa-passiva-e-casa-attiva/>
- [9] Emumariana da Emu Architetti, *“Lo stile architettonico di una casa passiva”*, 2013.
Link: <https://emuarchitetti.com/2013/09/10/lo-stile-architettonico-di-una-casa-passiva/>

[10] Bubbolo21 in SCIENCE, “*Criteri costruttivi di una casa passiva – parte 3*”, 2018.

Link: <https://steemit.com/science/@bubbolo21/criteri-costruttivi-di-una-casa-passiva-parte3-schermi-solari-e-forma-edificio-ita>

[11] ProgettoEnergetico.com, “*Due cardini del progetto integrato: la forma dell’edificio e la qualità dell’involucro*”, 2017.

Link: http://www.progettoenergetico.com/public/casa_passiva_cap2-2.pdf

[12] Anna Altini, “*Come scegliere l’orientamento degli ambienti*”, 2018.

Link: http://www.annaaltiniarchitetto.it/public/allegato/01_ORIENTAMENTO%20DEGLI%20AMBIENTI.pdf

[13] Lavoriincasa.it, “*Qual è l’orientamento ottimale della casa?*”, 2017.

Link: <https://www.lavorincasa.it/orientare-la-casa/>

[14] Labia.it, “*Casa passiva*”, 2006.

Link: <http://nuke.labia.it/AREE/CERTIFICAZIONEENERGETICA/casapassiva/tabid/82/Default.aspx>

[15] Dr. Burkhard Schulze Darup, Dr. Katharina Zwiauer, Stefan Prokupek in collaborazione con: Mauro Pastore (Direttore) e Lisa Pavan (Vicedirettore), “*Edifici energeticamente efficienti (edifici passivi e a energia quasi zero) – La casa passiva*”, 2018.

Link: https://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/passivhaus/it/La%20casa%20passiva.pdf

[16] Antonia Guerra in architetturasostenibile.it, “*La casa passiva: progettare per il sole*”, 2010.

Link: <https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/casa-passiva-bioarchitettura-progettare-sole-066/>

[17] Alberto Berardi in Casapassiva.wordpress.com, “*Recupero acque piovane*”, 2011.

Link: <https://casapassiva.wordpress.com/2011/06/07/recupero-acque-piovane/>

[19] Roberto Battista in Abitare, Articoli, *“Ripensare l’abitare #3 – Come costruire una casa passiva”*, 2017.

Link: <http://www.italiachecambia.org/2017/05/ripensare-abitare-3-come-costruire-una-casa-passiva/>

[20] Webcasa24.ch, *“Impianti fotovoltaici con e senza accumulo: le differenze”*, 2015.

Link: <https://www.webcasa24.ch/magazine/impianti-fotovoltaici-con-o-senza-accumulo-differenze-e-vantaggi/>

[21] Efficasa.it, *“Come funziona un impianto a isola o ibrido e perché conviene”*, 2017.

Link: https://efficasa.it/module/ag_blogpages/blogpage?id=36&rewrite=-come-funziona-un-impianto-fotovoltaico-a-isola-o-ibrido-e-perche-conviene

[22] Efficasa.it, *“L’inverter negli impianti fotovoltaici: come sceglierlo e perché è importante”*, 2016.

Link: https://efficasa.it/module/ag_blogpages/blogpage?id=27&rewrite=linverter-negli-impianti-fotovoltaici-come-sceglierlo-e-perche-e-importante

[23] SMA Italia, *“Inverter solari – Conoscenze di base per la progettazione FV”*, 2012.

Link: <https://www.sma-italia.com/soluzioni/medium-power-solutions/know-how/inverter-solari-conoscenze-di-base-per-la-progettazione-di-impianti-fv.html>

[24] Fotovoltaiconorditalia.it, *“Inverter con batteria di accumulo, cosa offre il mercato”*, 2015.

Link: <https://www.fotovoltaiconorditalia.it/idee/inverter-con-batteria-di-accumulo>

[25] Il portale del sole, *“Come scelgo i componenti del mio kit?”*, 2018.

Link: www.ilportaledelsole.it/index.asp?id_pagina=0431&avanti=true&cat=0025

[26] Abbassalebollette.it, *“Dimensionamento delle batterie per l’impianto fotovoltaico”*, 2018.

Link: <https://www.abbassalebollette.it/impiantifotovoltaici-news/dimensionamento-batterie-fotovoltaico/>

[27] Fotovoltaiconorditalia.it, *“Impianto fotovoltaico da 3kw: dimensioni e rendimenti”*, 2015.

Link: <https://www.fotovoltaiconorditalia.it/idee/impianto-fotovoltaico-3-kw-dimensioni-rendimenti>

[28] Allenergya.com, *“4 batterie di accumulo a confronto: LG, Tesla powerwall 2, Sonnen e Varta”*, 2017.

Link: <http://www.allenergya.com/news/migliori-batterie-di-accumulo-fotovoltaico-confronto/>

[29] Accumulofotovoltaico.it, *“Impianto fotovoltaico stand alone: costi e dimensionamento suggerito”*, 2016.

Link: <http://www.accumulo-fotovoltaico.it/impianti/fotovoltaico-stand-alone/>

[30] Consulenteenergia.com, *“Come dimensionare un impianto stand alone”*, 2014.

Link: www.consulente-energia.com/sm-come-dimensionare-un-impianto-fotovoltaico-stand-alone-stima-consumi-corrente-potenza-assorbita-kwh-massima-minima-numero-pannelli-fotovoltaici-12v-24-v-ampere-picco-medio.html

[31] Alberto Berardi, *“Ombreggiatura”*, 2011.

Link: <https://casapassiva.wordpress.com/tag/ombreggiatura/>

[32] Insync Solar engineered shading solutions, *“Passive house solar shades”*, 2018.

Link: <https://www.insyncsolar.com/passive-house-solar-shades>

[33] Don Prowler, FAIA, *“Sun control and shading devices”*, 2016.

Link: <https://www.wbdg.org/resources/sun-control-and-shading-devices>

[34] Dott.ssa Maria Francesca Massa, *“L'impianto di ventilazione in una casa passiva: conoscere il funzionamento, I benefici e I vantaggi”*, 2017.

Link: <http://www.prefabbricatisulweb.it/quida/l-impianto-di-ventilazione-in-una-casa-passiva.html>

- [35] Design serramenti, *“Ventilazione meccanica controllata VMC”*, 2018.
Link: <http://www.designeserramenti.it/ventilazione-meccanica-controllata-vmc>
- [36] Heliotherm, *“Il principio delle pompe di calore”*, 2018.
Link: <http://www.heliotherm.com/it/il-principio-delle-pompe-di-calore.html>
- [37] Gammaenergy, *“La pompa di calore geotermica”*, 2017.
Link: <http://www.gammaenergy.it/geotermico/la-pompa-di-calore-pcq.html>
- [38] casasoleil.it, *“Le pompe di calore geotermiche”*, 2017.
Link: <http://www.casasoleil.it/energieRinnovabili/geotermico.htm>
- [39] Ennio Galazzini in Qualenergia.it, *“Le sonde geotermiche: i costi, quando e dove conviene”*, 2014.
Link: www.qualenergia.it/articoli/20140731-le-sonde-geotermiche-i-costi-quando-e-dove-conviene-installarle
- [40] Mauro Braga, *“Funzionamento pannello solare termico: cosa sapere?”*, 2016.
Link: <https://residenziale.viessmannitalia.it/funzionamento-pannello-solare-termico-cosa-sapere>
- [41] Solaritalia, *“Funzionamento impianti solari termici”*, 2016.
Link: www.solaritalia.com/impianti_solari_termici_funzionamento.htm
- [SIM] JCR, European commission
Link: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=it&map=europe>