

# Fotovoltaico e NZEB **nuove strategie e innovazione tecnologica**

UN EDIFICIO RESIDENZIALE AUTOSUFFICIENTE EQUIPAGGIATO SOLO CON MODULI FOTOVOLTAICI INTEGRATI NELLE PARETI VERTICALI: L'ESPOSIZIONE, IL DIMENSIONAMENTO E LE SOLUZIONI PER L'OTTIMIZZAZIONE E LO STOCCAGGIO SONO FUNZIONALI ALL'AUTOCONSUMO



Sbaragliando l'agguerrita concorrenza di nove squadre statunitensi e di un team olandese, Swiss Living Challenge – squadra composta da rappresentanti di quattro atenei elvetici - si è aggiudicata il Solar Decathlon 2017 – un vero e proprio “campionato mondiale” per gli NZEB organizzato dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti (DoE) - svoltosi a Denver (Colorado) fra il 18 settembre e 20 ottobre scorsi. L'aspetto concettualmente più interessante di NeighborHub – l'edificio vincitore – consiste nel fatto che, per l'intera durata della competizione, è stato alimentato esclusivamente da moduli fotovoltaici integrati nell'involucro edilizio verticale, la cui applicazione presenta interessanti risvolti per chi si occupa di generazione elettrica sostenibile in ambito residenziale, e non solo.

## Un nuovo scenario

Tradizionalmente, l'installazione dei moduli fotovoltaici avviene sulle falde delle coperture degli edifici. La ridotta efficienza di conversione di questa tecnologia rende infatti necessaria la disponibilità di ampie superfici libere, opportunamente orientate verso sud e inclinate, in modo da favorire l'esposizione delle celle rispetto al tragitto del Sole nella volta celeste. Inoltre, l'installazione fissa sul tetto si presta anche a nascondere alla vista l'esistenza dei moduli, generalmente ritenuti antiestetici. Questa soluzione è però frutto di un compromesso. In generale, la posizione ideale di una cella fotovoltaica è perpendicolare ai raggi solari, ma il Sole descrive nel cielo un tragitto curvilineo i cui punti significativi (alba, altezza massima, tramonto) variano giorno per giorno in funzione della latitudine.

In pratica, per motivi tecnici ed economici, nelle installazioni sulle coperture si rinuncia all'opportunità di massimizzare la quantità di luce incidente sui moduli fotovoltaici in ogni momento di ciascuna giornata, mediante una struttura mobile atta a “inseguire” i raggi solari, preferendo invece la posa del campo solare su una superficie preesistente.

Questa modalità d'intervento si è affermata quando la produzione di elettricità da fotovoltaico era finalizzata a fornire energia rinnovabile alla rete e, soprattutto, quando i generosi incentivi governativi rendevano conveniente installare gli impianti fotovoltaici indipendentemente dalla possibilità di autoconsumare l'energia prodotta.

Oggi, al contrario, lo scenario è molto diverso. Nella progettazione e realizzazione di un campo fotovoltaico gli aspetti da considerare sono principalmente:

## FUNZIONAMENTO OTTIMIZZATO

Nel caso di batterie completamente cariche, la sovrapproduzione è conferita alla rete e, durante la competizione, alla microgrid del Solar Decathlon. Il contenuto di carbonio dell'elettricità presente nella rete e il suo prezzo sono i parametri considerati dall' algoritmo per determinare da quale fonte (batterie o rete) prelevare l'energia in caso di domanda superiore alla produzione.

L'algoritmo è stato sviluppato sia per predire i consumi e la produzione di elettricità, sia per anticipare le variazioni di prezzo della borsa elettrica per un periodo di 24 ore. Di conseguenza, nella scelta del caricatore è stata valutata anche l'apertura dell'architettura del software in dotazione.

In vista della competizione, l'impianto di produzione e stoccaggio dell'elettricità è stato oggetto per diversi giorni di test specifici effettuati a Friburgo, utilizzando anche dei misuratori di potenza collegati tramite bus KNX, con l'obiettivo di affinare le modalità di funzionamento. Obiettivo principale della simulazione era raggiungere livelli ottimali di neutralità energetica e di equilibrio economico, per minimizzare i costi di approvvigionamento e gli apporti superflui di energia alla rete. Questa messa a punto ha costituito non solo un fattore importante per la vittoria nella competizione, ma anche un'esperienza molto interessante per la ricerca applicata agli NZEB.

Con un punteggio di 872,910 sui 1.000 disponibili, NeighborHub ha vinto il Solar Decathlon 2017 primeggiando in 6 contest su 10 (Architettura, Ingegneria, Acqua, Salute e comfort, Vita domestica, Energia). (Credito: Swiss Living Challenge)



Per ottimizzare produzione e autoconsumo dell'energia i moduli fotovoltaici sono esposti sulle facciate est, sud e ovest (a destra); sotto i pannelli monocristallini si notano anche i 12 moduli DSSC di colore rosso (Credito: Dennis Schroeder; U.S. Department of Energy Solar Decathlon)

- l'evoluzione delle normative in materia di efficienza energetica e di uso delle fonti rinnovabili al servizio degli edifici, nell'ottica degli NZEB;
- l'azzeramento degli incentivi, che ha reso antieconomico il mero conferimento in rete dell'elettricità prodotta;
- la transizione verso l'alimentazione elettrica degli impianti di climatizzazione, mediante sistemi ad alta efficienza come le pompe di calore;
- la costante riduzione del prezzo dei componenti che, soprattutto in ambito domestico, facilita la realizzazione di impianti con potenze superiori ai classici 3 kWp.

### Dal tetto alle facciate

Oggi l'impianto fotovoltaico al servizio di un edificio può essere considerato un investimento redditizio solo se è funzionale al contenimento dei costi per i consumi elettrici e termici degli abitanti, i quali producono sul posto gran parte del proprio fabbisogno energetico, utilizzando l'elettricità erogata dalla rete solo quando necessario per integrare la domanda. Di conseguenza, la prima necessità da fronteggiare per chi ha intenzione di realizzare un impianto fotovoltaico consiste nel suo corretto dimensionamento, in relazione ai consumi effettivi, considerando anche la possibilità di stoccare l'eventuale eccedenza in sistemi di accumulo, in grado di restituirla quando richiesto anche in assenza di produzione locale. Questa tendenza, che nel breve-medio termine dovrebbe conoscere una crescente affermazione, trova risposta nell'approccio del team Swiss Living Challenge che, con

NeighborHub, ha sviluppato un approccio alternativo al metodo progettuale tradizionale, puntando verso un edificio dall'involucro passivo (per minimizzare il fabbisogno termico) e attivo (per l'autoproduzione e l'autoconsumo elettrico). Sostenuto da elementi in legno lamellare predisposti per l'assemblaggio a secco di tutti i componenti, NeighborHub (superficie totale 179 m<sup>2</sup>) presenta un volume parallelepipedo formato da:

- il nucleo residenziale centrale (core: 69 m<sup>2</sup>), un miniappartamento in open space caratterizzato da ottimali condizioni di comfort, dotato di pareti attrezzate per tutte le principali funzioni domestiche;
- un'ampia veranda solare (extended skin: 110 m<sup>2</sup>) che circonda su tutti i lati il core, in grado di fornire condizioni di comfort meno restrittive per le attività collettive e di relazione.

### Esposizione, autoconsumo e stoccaggio

La copertura piana è interamente occupata da un giardino pensile e fornisce luce zenitale agli spazi sottostanti. I moduli fotovoltaici sono posizionati esclusivamente sulle facciate verticali esposte a sud, est e ovest, nella fascia superiore delle facciate continue. Alcune sezioni dell'extended skin possono essere aperte: in questo modo i serramenti basculanti, nei quali sono integrate le superfici energeticamente attive, risultano inclinati di 17°.

Il campo fotovoltaico di NeighborHub è perciò orientato in tre direzioni, corrispondenti sia ai periodi della giornata nei quali normalmente si registra la più alta domanda di energia (primo



**La parete attrezzata della cucina interna al core: l'intero fabbisogno di elettricità per climatizzazione, illuminazione, sicurezza e gestione intelligente dell'edificio è affidato al campo fotovoltaico** (Credito: Dennis Schroeder; U.S. Department of Energy Solar Decathlon)

mattino e tardo pomeriggio), sia all'esposizione migliore per massimizzare la produzione di energia, in vista dello stoccaggio per i consumi serali e notturni.

In tutte le stagioni, nelle prime ore mattino e prima del tramonto (quando il Sole si trova rispettivamente nei quadranti di levante e ponente e risulta basso sull'orizzonte), i moduli fotovoltaici verticali esposti a est e ovest sono irradiati con un'angolazione sicuramente migliore rispetto a quelli posizionati su una copertura inclinata,

Quanto ai moduli verticali presenti sulla facciata sud, in inverno sono meglio esposti al Sole che descrive una traiettoria relativamente bassa sopra l'orizzonte. Durante le giornate estive e delle stagioni di transizione, quando i serramenti basculanti dell'extended skin sono generalmente aperti, l'esposizione di tutti i moduli è pressoché simile a quella di un campo fotovoltaico fisso su copertura.

Il posizionamento dei moduli fotovoltaici segue perciò una logica precisa, mirata a mettere in diretta relazione l'esposizione con le esigenze dell'autoconsumo e dello stoccaggio a breve termine dell'elettricità. Quanto agli aspetti estetici, l'integrazione dei moduli nelle facciate trasparenti è costituisce un vero e proprio progetto di design che rende le superfici attive parte integrante dell'immagine dell'edificio.

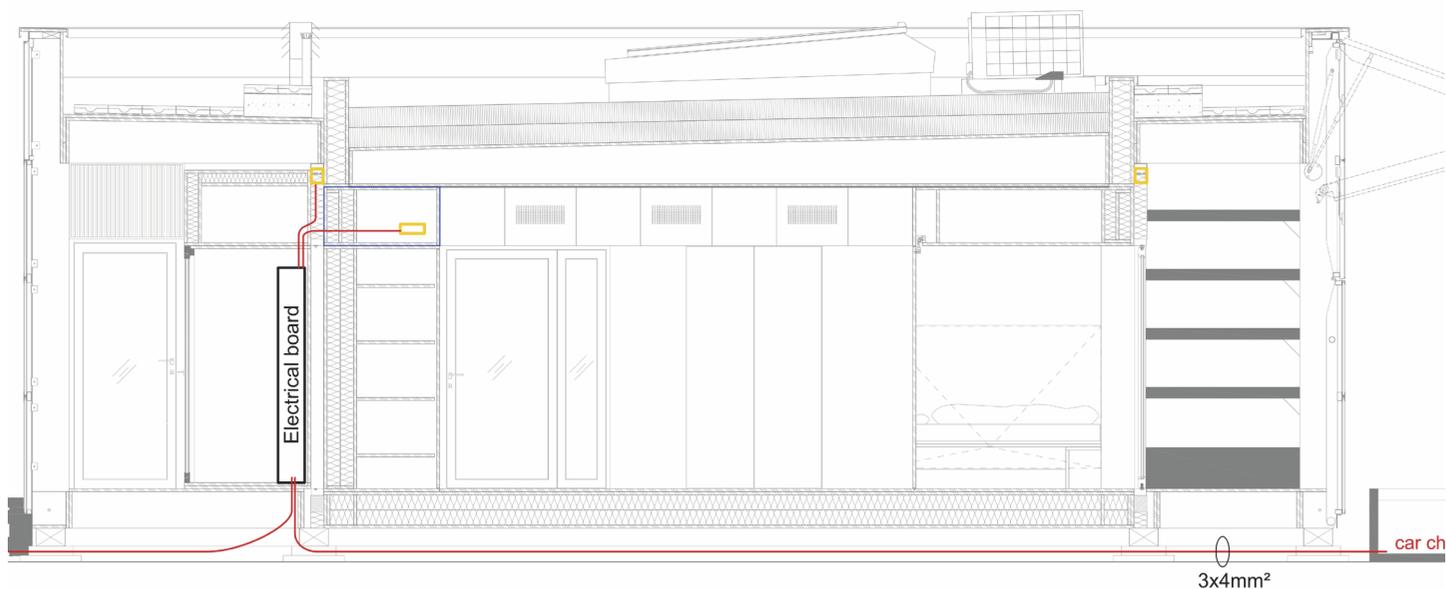
### L'impianto fotovoltaico

I moduli BIPV coprono una superficie complessiva di 47,2 m<sup>2</sup>. Sono del tipo monocristallino nero (Pnom 335 W), a 96 celle c-Si ciascuno, selezionati in base ai seguenti criteri:



**Una fase dell'installazione dei serramenti basculanti che, in posizione di apertura, inclinano i moduli monocristallini a 17° permettendo di ottimizzare l'esposizione durante la stagione calda** (Credito: Portes Brodard)

- conformità alla certificazione UL, obbligatoria per partecipare al Solar Decathlon 2017;
- efficienza 21,1%, per massimizzare la produzione di energia mantenendo la trasparenza dell'extended skin;
- aspetto estetico, allo scopo di migliorare l'integrazione facciate-moduli.



Sezione schematica di NeighborHub con le principali linee dell'impianto elettrico: alimentazione dalla rete (a sinistra), quadro elettrico, campo fotovoltaico, canaline per la distribuzione e caricabatterie per l'auto elettrica (a destra) (Credito: Swiss Living Challenge)

- affidabilità superiore a 25 anni;
- peso ridotto (laminati PV standard da 3,2 mm);
- facilità di gestione dei pannelli nelle operazioni di montaggio e smontaggio;
- basso impatto ambientale secondo GWP e CED.

La potenza installata è pari a 9,715 kWp, prossima al limite massimo di 10 kWp consentito dal regolamento. Nonostante le tre esposizioni e la possibilità di inclinazione variabile, anche per limitare i costi sono stati utilizzati 3 soli inverter (1 stringa per facciata) in luogo dei 6 necessari. La mancata corrispondenza fra corrente e tensione nei moduli della medesima stringa ha indotto a collegare a ciascun modulo appositi ottimizzatori di potenza (convertitori DC/DC con funzione MPPT: Maximum

Power Point Tracking), utili anche a contenere il calo dell'efficienza conseguente all'ombreggiamento.

Per garantire la continuità d'uso di Neighborhub funzionale alla massimizzazione dell'autoconsumo, il campo fotovoltaico è accoppiato a 2 batterie Li-ion (10,8 kWh complessivi) caratterizzate da una potenzialità di 5.000 cicli (DOD 80%) e da bassi livelli di GWP e CED, abbinato a un caricatore inverter (8.000 VA) in modalità di accoppiamento AC.

## Fabbisogno elettrico e simulazioni

In sede di progettazione, le prestazioni del campo fotovoltaico sono state simulate con i software Pvsyst, per determinare la resa annuale, e Crmsolar, per le simulazioni orarie, utilizzando le

## LE CELLE DI GRÄTZEL

Oltre ai moduli BIPV al silicio, sulle facciate est e ovest sono stati installati anche 24 moduli fotoelettrochimici (celle di Grätzel) del tipo DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell), di colore rosso, disposti a occupare le dimensioni di 6 moduli al silicio. Si tratta di una tecnologia fotovoltaica alternativa, in quanto sfrutta la sensibilizzazione operata da specifici coloranti (dye) che, assorbendo la luce, generano elettroni eccitati.

I moduli DSSC di Neighborhub sono sandwich composti da un substrato in vetro, sul quale vengono depositati un film sottile poroso conduttivo e una miscela di nanoparticelle di ossido di titanio (semiconduttore) e colorante (materiale attivo), poi una soluzione elettrolitica a base di iodio, uno strato di platino (catalizzatore), ancora il film conduttivo e una seconda lastra di vetro. Il modulo è perciò trasparente, sebbene colorato, e può ricevere luce su entrambe le facce.

In seguito all'assorbimento dei fotoni, gli elettroni che si generano nel colorante si trasferiscono nello strato di  $TiO_2$ , dirigendosi verso l'anodo, mentre la soluzione elettrolitica ha il compito di permettere il trasporto della lacuna elettronica, in direzione del controelettrodo. In questo modo l'elettrone perso è restituito al colorante per ossidazione, permettendo la replicazione pressoché infinita del ciclo.

Anche se esistono interessanti applicazioni (all'aperto: il Padiglione dell'Austria all'Expo Milano 2015; al coperto: Aeroporto di Ginevra), la tecnologia DSSC è ancora in fase di evoluzione. Rispetto alle tradizionali celle al silicio, i loro principali vantaggi consistono nel costo contenuto (fino a 20 volte inferiore) e nell'elevata efficienza teorica (70% secondo il MIT).

coordinate di Friburgo (Svizzera) e Denver (Colorado). Nel primo caso la produzione è risultata di 7.059 kWh (8.649 kWh con le finestre basculanti aperte a 17 °), mentre nel secondo sono stati stimati 10.664 kWh (13.698 kWh). La scelta di posizionare i moduli sulle finestre basculanti ha perciò contribuito notevolmente a incrementare la produzione. La previsione del fabbisogno elettrico ha considerato entrambi gli scenari, considerando tutti i dispositivi elettrici installati per:

- la climatizzazione (condizionamento dell'aria, ventilazione meccanica controllata, elettropompe degli impianti idronici e idrosanitari);
- la vita familiare (frigorifero-congelatore, lavatrice, asciugatrice, lavapiatti, piano cottura a induzione, forno, cappa aspirante, home entertainment, computer, ecc.);
- l'illuminazione artificiale, affidata a 62 fra punti luce e barre led (da 11 W a 100 W), per un totale di 1.377 W;
- la movimentazione servoassistita delle finestre dell'extended skin e da tetto;
- l'impianto antincendio sprinkler;
- il funzionamento degli altri sistemi idrici (elettropompe per acquacoltura, fitodepurazione dei reflui, pompaggio delle acqua meteoriche);
- il BMS;
- l'alimentazione dell'automobile elettrica (3,7 kW monofase) che, per ogni giorno della manifestazione, doveva percorrere un tragitto di 30 km.

Il consumo totale di elettricità è stato stimato in 185 kWh per gli 8 giorni della competizione, a fronte di una produzione media giornaliera di 28 kWh, pari a 224 kWh complessivi (con finestre basculanti aperte).

I dati rilevati durante il funzionamento effettivo hanno sostanzialmente confermato i risultati delle simulazioni. Nei fatti, l'impiego degli ottimizzatori di potenza ha dimostrato una notevole efficacia nel fronteggiare l'ombreggiamento e la variabilità dell'irraggiamento solare sulle superfici captanti. L'esperienza sviluppata da Swiss Living Challenge nello sviluppo e nella gestione degli aspetti energetici (impianto fotovoltaico, smart-grid, ecc.) e della domotica è oggi parte integrante delle competenze di Smarsys, società elvetica di consulenza aziendale.

## Bibliografia

- Philippe Couty, Moncef J. Lalou, Peter Cuony, Samuel Cotture, Victor Saade: "Positive energy building with PV facade production and electrical storage designed by the Swiss team for the U.S. Department of Energy Solar Decathlon 2017." Elsevier Ltd., 2017 - CISBAT 2017 International Conference, 6-8 September 2017, Lausanne, Switzerland.
- Moncef J. Lalou, Philippe Couty: "Avec le soleil pour seule source d'énergie" Electrosuisse Bulletin SEV/VSE, 10/2017

*L'autore ringrazia il Dott. Philippe Couty per la collaborazione fornita nella realizzazione dell'articolo*

## SCHEDA DEL PROGETTO

### ORGANIZZATORE

United States Department of Energy

### TEAM VINCITORE

Swiss Living Challenge  
École Polytechnique Fédérale, Lausanne  
Haute École d'Ingénierie et d'Architecture, Fribourg  
Haute Ecole d'Art et de Design, Genève  
Université de Fribourg

### PROGETTO

NeighborHub

### COORDINATORE, LEAD ENGINEERING

Philippe Couty (HEIA-FR)

### FACCIATE CONTINUE

Sottas

### MODULI FOTOVOLTAICI MONOCRISTALLINI

Sunpower

### INVERTER, OTTIMIZZATORI DI POTENZA

Solaredge

### MODULI FOTOVOLTAICI DSSC

H.Glass

### BATTERIA LI-ION

BMZ

### CARICATORE INVERTER

Studer Innotec

### BATTERIA DCS

Victron Energy

### BATTERIA BACKUP

Ultracell

### CORPI ILLUMINANTI

Regent

### COMPONENTI IMPIANTO ELETTRICO

ABB

### STAZIONE RICARICA AUTO ELETTRICA

Keba

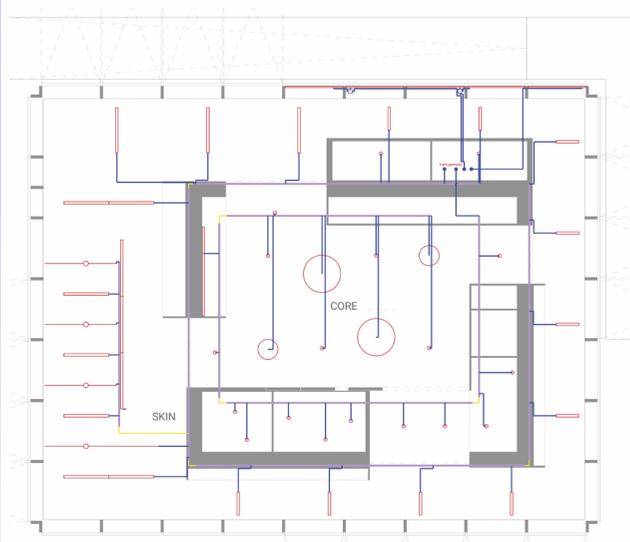


Diagramma schematico dell'impianto elettrico di NeighborHub, conformato come una mini-grid intelligente in grado di equilibrare produzione fotovoltaica e autoconsumo da parte degli abitanti (Credito: Swiss Living Challenge)