

# BiPV ed edifici storici: l'integrazione è possibile?

## BiPV and historic buildings: a possible integration?

ELENA LUCCHI<sup>1</sup>, MAGDALENA TABAK<sup>2</sup>, VALENTINA CARI<sup>3</sup>, MYRIAM PERNA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eurac, BZ - Politecnico di Milano, MI

<sup>2</sup> Eurac, BZ

<sup>3</sup> Libero professionista – Bellano, LC

<sup>4</sup> Solbian – Torino, TO

### RIASSUNTO

L'integrazione dei pannelli fotovoltaici su edifici storici è un tema molto dibattuto. Se da un lato, la legislazione nazionale richiede un aumento progressivo dell'uso energia prodotti da fonti rinnovabili, dall'altro permane ancora una serie di difficoltà legate alla loro accettazione estetica sugli edifici storici. Il lavoro presenterà i risultati di una corretta integrazione paesaggistica e architettonica (*building integrate photovoltaics* - BiPV) di un sistema di pannelli in silicio monocristallino su una villa ottocentesca ubicata sul Lago di Como. Dopo avere descritto le particolarità del progetto impiantistico, saranno analizzati i dati di produzione che sono monitorati in loco da un sistema ICT appositamente realizzato per ottimizzarne le prestazioni impiantistiche e le strategie di gestione. Infine, sarà analizzato il rapporto tra i consumi elettrici effettivi e la produzione energetica dell'impianto fotovoltaico.

### SUMMARY

The integration of PV panels on historic buildings is a debated topic. On the one hand, the national legislation requires a progressive increasing of the use of renewable energy sources; on the other hand, several difficulties related to their aesthetics acceptance in historical buildings remain unsolved. The work presents the results of a proper landscape and architectural integration (*building integrate photovoltaics* - BiPV) of amorphous silicon panels on a villa located on Como Lake. After describing the plant details of project, the production data monitored on-site by an ICT system specifically designed to optimize plant performance and management strategies has been analyzed. Finally, the work examines also the relationship between the actual power consumption and the energy production of the PV system.

Parole chiave: fonti rinnovabili, BiPV, gestione impiantistica

Key words: renewable sources, BiPV, system management

## 1. INTRODUZIONE

L'integrazione del fotovoltaico negli edifici storici e nel paesaggio è un tema ancora parecchio dibattuto dove tutela ambientale, paesaggistica e interessi dei privati si sovrappongono. Con l'approvazione del protocollo di Kyoto, la posizione dell'Unione Europea è stata quella di ridurre le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) attraverso l'emanazione di diverse Direttive. La Direttiva 2009/28/CE (14) sulla "*Promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili*" auspica la riduzione di CO<sub>2</sub> entro il 2020, attraverso l'uso delle sorgenti rinnovabili. La Direttiva 2010/31/UE (13) contempla le fonti rinnovabili in merito all'introduzione dell'edificio a "energia quasi zero" (art. 2) per le costruzioni nuove e per quelle esistenti soggette a ristrutturazioni importanti, dove il fabbisogno energetico deve essere coperto questo tipo di energia. A livello nazionale, il Decreto 28/2011 (16) recepisce la Direttiva 2009/28/CE (14) definendo gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi, il quadro giuridico e finanziario necessari per il raggiungimento degli obiettivi in materia di energia da fonti rinnovabili entro il 2020.

Il patrimonio edilizio italiano è costituito al 70% da edifici esistenti (5), per cui la necessità di avere dei parametri esaustivi per regolamentare l'introduzione di questi sistemi nel paesaggio è piuttosto evidente. L'introduzione di pannelli fotovoltaici o solari termici nelle coperture di costruzioni esistenti soggette a ristrutturazioni rilevanti è regolamentata a livello nazionale (16, art. 11; all. 3). Si introduce l'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili, stabilendo la necessità di prevedere corretta inclinazione e orientamento rispetto alla falda. Nel caso in cui l'edificio sia sottoposto alla tutela dell'art. 136 parte Terza del codice dei Beni e l'integrazione dovesse modificare il suo aspetto estetico, questo tipo di obbligo decade. Se invece l'integrazione non causa alcuna alterazione dei valori artistici, questo tipo di intervento è permesso. Nel decreto n. 162 del 15 Luglio 2015 (15) "*Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prestazioni e dei requisiti minimi degli edifici*", che recepisce la Direttiva 2010/31/UE, in caso di ristrutturazioni importanti di primo livello obbliga alla copertura del 50% dell'energia prodotta per l'acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento attraverso le rinnovabili. È opportuno sottolineare anche che queste fonti energetiche sono uno dei requisiti richiesti per definire i *Nearly Zero Energy Buildings* (13).

La questione paesaggistica è particolarmente rilevante perché nella maggior parte dei casi, per massimizzarne la produzione, i pannelli vengono posizionati nella copertura. Quest'ultima è considerata il "quinto prospetto" (11), capace di caratterizzare i centri storici e il paesaggio attraverso la sua morfologia, i volumi e i materiali utilizzati. Il paesaggio viene normato dalla parte terza del D.lgs. 42/2004, dando i principi di tutela e valorizzazione (1717, art. 131). In particolare, "(...) *la valorizzazione del paesaggio concorre a promuovere lo sviluppo della cultura. A tale fine le amministrazioni pubbliche promuovono e sostengono, per quanto di rispettiva competenza, apposite attività di conoscenza, informazione e formazione, riqualificazione e fruizione del paesaggio nonché, ove possibile, la realizzazione di nuovi valori paesaggistici coerenti ed integrati. La valorizzazione è attuata nel rispetto delle esigenze della tutela*" (17, art. 131, comma 5). L'inserimento di fonti rinnovabili non è permesso qualora l'edificio esistente fosse soggetto a un vincolo paesaggistico (art. 136 comma 1 lettera b e c della Parte Terza del D.lgs. 42/2004), in quanto potrebbe portare a una modifica dei suoi caratteri estetici. Se da un lato bisogna assolutamente preservare il paesaggio e l'edificio storico, dall'altro

non si può impedire al proprietario di usufruire di fonti rinnovabili e di risparmiare energia, visti anche gli incentivi dello Stato. Il mercato, inoltre, offre diverse tipologie di impianti fotovoltaici. Per questo motivo vi è la necessità di strumenti che regolarizzino il loro posizionamento per evitare applicazioni poco studiate come spesso accade.

In questo ambito le “*Linee guida di indirizzo per il miglioramento energetico del patrimonio culturale*”, redatte dal MiBACT (5), dovrebbero fornire dei criteri specifici per l’integrazione di tali sistemi, evidenziandone le criticità e i limiti al fine di evitare lo sradicamento del paesaggio, come è avvenuto per le antenne che ne costituiscono parte integrante (12). Sostanzialmente, le informazioni fornite sono analoghe all’art. 11 del D. 28/2011 (14) e, pertanto, non vi sono criteri specifici di integrazione del fotovoltaico nell’edilizia storica.

In ambito europeo il tema è affrontato da diverse linee guida, come quelle del Canton Ticino, dell’Austria e dell’Inghilterra. Le prime (11) individuano diversi problemi legati alle coperture, in particolare quando: (i) il tetto è molto visibile e prominente, ossia quando è posto in una posizione privilegiata nel paesaggio; (ii) la copertura è molto visibile da uno spazio pubblico interno al nucleo, come una piazza o una strada, di cui costituisce una scenografia importante; (iii) il tetto appartiene a una parte unitaria del nucleo; (iv) il tetto è posto su di un edificio basso, molto visibile dalle abitazioni vicine; oppure (v) le dimensioni della falda sono inadeguate per contenere in modo equilibrato la superficie di pannelli necessari. Le linee guida austriache (2) suggeriscono schemi su come posizionare i pannelli, con disegni e schizzi molto esplicativi. Infine, il manuale inglese (3) fornisce addirittura dettagli tecnologici di come ancorare i pannelli su coperture storiche.

Il tema è stato anche ampiamente trattato in alcuni progetti europei dedicati all’efficienza energetica degli edifici storici e all’integrazione con le energie rinnovabili. In particolare, i progetti nazionali svizzeri SuRHiB (6; 7) ed ENBAU-ENergie und BAUdenkmal (12) definiscono i parametri e le schede tecniche per effettuare un’accurata valutazione dell’integrazione architettonica dei sistemi fotovoltaico. Il progetto europeo 3encult (8) ha suggerito alcuni criteri di integrazione di diverse tipologie di pannelli fotovoltaici prodotti a livello industriale su edifici storici, dando delle linee guida semplificate. Infine, il progetto europeo SECURBA (9) ha studiato il medesimo problema alla scala dei centri storici. Le linee guida e i progetti hanno degli aspetti in comune fondamentali per ottenere una buona integrazione, che possono essere sintetizzate come segue:

- Considerazione dell’inclinazione e l’orientamento sia per i pannelli integrati che per quelli appoggiati;
- Rispetto dei contorni della copertura, i colmi, i canali e le gronde;
- Raggruppamento dei pannelli;
- Rispetto delle proporzioni della falda;
- Cura negli elementi di raccordo;
- Scelta del colore nel rispetto della copertura preesistente dell’intero edificio e del contesto

Per questo motivo è necessario, avere dei criteri che sappiano indirizzare al meglio i progettisti, nella progettazione e le autorità competenti della valutazione di tali interventi per evitare di vedere pannelli blu stonare su coperture in coppi. In sintesi, l’introduzione del fotovoltaico sull’edificio storico è fortemente legata alla tutela del

paesaggio, in quanto un'errata integrazione può gravemente modificare il suo carattere identitario.

## **2. OBIETTIVI**

La ricerca vuole dimostrare che è possibile ottenere una buona integrazione paesaggistica e architettonica dei sistemi fotovoltaici anche su edifici esistenti dotati di valore storico grazie a uno studio dettagliato e a un design specifico della copertura. In questo modo, inoltre, è possibile ottimizzare anche la produttività e la resa impiantistica. Sarà presentato il progetto architettonico di una villa storica ubicata sulle rive del Lago di Como, dove la disposizione dei pannelli sulla copertura è nata da una perfetta sinergia tra aspetti paesaggistici, architettonici e ingegneristici. Lo sforzo progettuale ha riguardato principalmente il bilanciamento tra l'orientazione delle falde e la massimizzazione della producibilità, minimizzando l'impatto visivo dell'impianto fotovoltaico con la scelta di una sistema di copertura particolare ed eliminando le opere di canalizzazione per i cavi di collegamento.

## **2. IL CASO STUDIO: UNA VILLA STORICA SUL LAGO DI COMO**

La villa storica è ubicata sulla sponda orientale del lago di Como, in un contesto paesaggistico di straordinaria bellezza. Costruita nella seconda metà dell'Ottocento, nasce come villa gentilizia e nel corso degli anni è stata utilizzata prevalentemente come casa di vacanza. L'utilizzo discontinuo determinò anche i numerosi ampliamenti dettati prevalentemente dalle necessità dei proprietari. Al primo nucleo venne aggiunta un'area al piano terreno, cui poi seguì un sopralzo con una nuova distribuzione dei piani. L'edificio ebbe un sostanziale rinnovamento nel 1925 quando acquisì una forma architettonica tuttora ben leggibile. La forma architettonica venne quindi resa coerente inquadrando le vecchie finestre del piano terreno in nuove finestre più snelle, alte e sottili e utilizzando elementi architettonici ricorrenti (cornici colorate, balaustre colonnate) e decori di facciata con la tecnica dell'intonaco a graffito. Quest'ultima costituisce la caratteristica peculiare e di maggior pregio (Figura 1).



*Figura 1 - L'edificio prima e dopo l'intervento di risanamento energetico (© Valentina Cari)*

L'edificio è vincolato dagli articoli 136 e 142 (ex Galasso) del Codice Urbani e da un vincolo urbanistico che prescrive il mantenimento delle strutture interne di pregio. L'idea progettuale nasce dalla volontà di procedere a una ristrutturazione radicale del

sistema involucro-impianti, pur nella conservazione delle pregevoli caratteristiche architettoniche. L'obiettivo ambizioso della committenza era quello di operare un restauro conservativo unitamente a un sensibile miglioramento delle sue prestazioni energetiche, al fine di renderlo abitabile nella sua interezza, seppur con costi di gestione contenuti.

Il lavoro nasce dalla collaborazione di un team multidisciplinare, guidato dal committente che ha posto gli obiettivi progettuali e ha seguito anche gli aspetti tecnici della progettazione. Il progetto architettonico è stato eseguito dall'architetto Valentina Cari, che ha coordinato il team e curato la Direzione dei Lavori, gli aspetti di restauro conservativo e di progettazione degli interni. La parte strutturale è stata seguita dallo studio di ingegneria tecnica STI che si è occupato del consolidamento statico delle strutture esistenti. Il *concept* energetico è stato curato dallo studio Solarraum di Bolzano e ha riguardato l'efficientamento energetico dell'involucro edilizio, la progettazione impiantistica e i calcoli energetici. L'Istituto per le Energie Rinnovabili dell'Accademia Europea di Bolzano (EURAC) di Bolzano, attraverso workshops mirati, ha verificato i dettagli esecutivi mediante simulazioni termoigrometriche tridimensionali e ha posto in opera un sistema di monitoraggio "*post operam*" per controllare in tempo reale temperatura, umidità relativa, concentrazione di CO<sub>2</sub>, temperature superficiali e livello di illuminamento dell'edificio. L'azienda Solbian ha curato la progettazione e l'installazione dell'impianto fotovoltaico integrato sulla copertura. Infine, la villa è stata edificio pilota per la validazione dei calcoli e delle procedure di certificazione con il protocollo CasaClimaR<sup>®</sup>. Il progetto ha vinto anche il CasaClima award 2016.

## **2.1. Restauro conservativo**

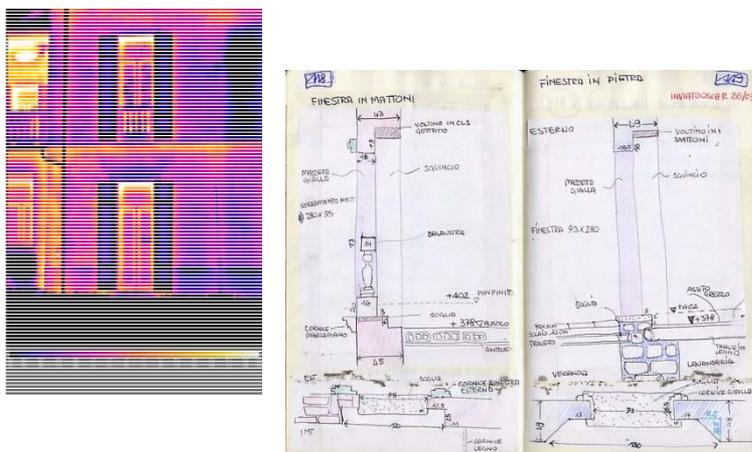
Il progetto di restauro conservativo è partito dalla necessità primaria di risolvere i problemi legati all'ubicazione a bordo del lago, che ha causato cedimenti strutturali e creato problematiche di risalita di umidità capillare. Il problema è stato risolto con un taglio chimico della muratura al piano terreno, con la creazione di una platea di consolidamento e di una guaina bituminosa continua lungo i muri perimetrali. I solai, che avevano caratteristiche costruttive diverse tra loro, sono stati ripuliti dagli elementi estranei e di pavimento e consolidati tramite l'inserimento di pioli in acciaio uniti da travetti e reti elettrosaldate conglobate in un getto compensativo. Un intervento strutturale importante ha riguardato poi la sostituzione del solaio dell'ultimo piano, gravemente ammalorato da infiltrazioni, con un solaio in legno lamellare. Analogamente, la copertura è stata interamente sostituita con una struttura in legno lamellare a scomparsa.

## **2.2. Risanamento energetico**

Il progetto di retrofit energetico è partito dalla diagnosi energetica dell'edificio. I calcoli effettuati con il software ProCasaClima hanno mostrato un fabbisogno per riscaldamento di 230kWh/m<sup>2</sup>, con perdite per trasmissione e per ventilazione molto elevate (rispettivamente pari a 126.000kWh/a e 18.500kWh/a). Per questo si è deciso di intervenire in primo luogo sull'isolamento termico e sulla riduzione delle infiltrazioni d'aria attraverso l'edificio.

Nel primo caso, partendo dal presupposto che l'isolamento termico doveva essere applicato all'interno delle pareti perimetrali, si è deciso di uniformare gli spessori degli isolanti, prediligendo i materiali igroscopici. Nella maggior parte delle pareti è stata applicata una coibentazione con lastre di perlite dello spessore di 20 cm mentre i pilastri in

calcestruzzo armato della veranda sono stati rivestiti con aerogel di 8 cm, che hanno permesso di mantenerne l'esile struttura architettonica. Nella copertura è stato inserito un pacchetto di coibentazione di 42 cm, in fibra di cellulosa (20 cm), lana di legno (10 cm) e di roccia (7 cm). L'impatto estetico provocato dallo spessore del tetto (pari a 51 cm) è stato contenuto con un sistema di travetti falsi in gronda. L'isolamento a pavimento è in lastre di XPS (20 cm) poste sulla platea armata, sopra alle quali corrono gli impianti in uno strato alleggerito in vermiculite (20 cm). I serramenti sono stati sostituiti con finestre ad alta efficienza con tripli vetri basso-emissivo e telaio in legno-alluminio, con una trasmittanza termica di circa  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$  e un fattore solare del 58%. I sistemi sono prodotti artigianalmente e riprendono stilisticamente i preesistenti. Sotto, sono riportate due immagini significative dell'involucro opaco e trasparente (Figura 2).



*Figura 2 - Termogramma della parete isolata e dettaglio costruttivo della posa in opera del serramento (©Elena Lucchi, Valentina Cari)*

Il sistema impiantistico consente di operare un sezionamento futuro utile anche per un uso parziale dell'edificio. È costituito da una pompa di calore geotermica con alimentazione elettrica da 14 kW, integrata con una termo-cucina da 8 kW per la produzione di acqua calda per usi sanitari e di riscaldamento. La ventilazione meccanica con scambiatore di calore è costituita da tre macchine, una per piano. Per permettere l'alloggiamento degli impianti sono stati utilizzati i ribassamenti dei soffitti nei corridoi.

Infine, viene prodotta energia elettrica in sito attraverso un impianto fotovoltaico integrato nella copertura. Il sistema provvede quasi in maniera completa alle necessità energetiche primarie degli utenti. Il calcolo finale del fabbisogno per riscaldamento è risultato di  $29 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , con una riduzione dell'88%.

### **3. SOLUZIONI PER L'INTEGRAZIONE DEL FOTOVOLTAICO**

Il progetto della copertura nasce dalla stretta interazione tra l'architetto e le aziende produttrici dei pannelli e della copertura. I pannelli, infatti, erano già in produzione e

venivano utilizzati quasi esclusivamente per imbarcazioni a vela (ed es. per la barca di Giovanni Soldini) e piccoli manufatti, come un bivacco sul monte Rosa e per alcune pensiline. Manufatti che per tipologia e dimensioni permettevano l'utilizzo di questi pannelli, sfruttandone prevalentemente le caratteristiche di flessibilità. In questa villa, per la prima volta vi è stata un'innovativa ricerca di integrazione relativamente al colore e al loro inserimento in copertura. La scelta di utilizzare una copertura doppia aggraffata colore antracite nasce proprio dalla ricerca dell'architetto che, conoscendo i due prodotti, ha immaginato che avrebbero potuto creare un perfetto binomio. In realtà, all'inizio erano state prescelte tipologie di pannelli differenti con celle colorate per privilegiare la copertura, nella convinzione che fosse impossibile inserire un impianto fotovoltaico. La copertura doveva prevedere un materiale accettabile dal punto di vista estetico e che risolvesse anche i gravi problemi causati dalla presenza di un grosso Cedro Deodara che sovrasta la casa e che, con la caduta continua di aghi, mandava in crisi dal punto di vista funzionale la precedente copertura in coppi. I canali di scolo dell'acqua si riempivano di materiale che non scorrendo via, impediva un corretto e continuo allontanamento dell'acqua piovana, creando gravi problemi di manutenzione. Inizialmente, si è optato per una copertura in Pietre delle Valmalenco, frequentemente utilizzata su edifici importanti sul tutto il territorio del lago, a partire dalle chiese, per arrivare fino alle ville storiche. Si è quindi cercato di abbinare i pannelli a questo tipo di copertura, facendo produrre due prototipi. Il primo su supporto trasparente è stato creato abbinando due lastre di vetro e interponendo le celle fotovoltaiche policristalline classiche. L'integrazione era basata sulla trasparenza del supporto. Il secondo prototipo si basava sull'integrazione cromatica. È stato creato un apposito pannello capace di ospitare delle celle di colore grigioverde provenienti dalla Germania, con una dimensione perfettamente adattata al passo delle pietre in serpentino della Valmalenco. In collaborazione con Brandoni, un noto produttore italiano di pannelli, è stato realizzato un prototipo di copertura in scala 1:1 per verificare i problemi di installazione. Il risultato era esteticamente gradevole, ma poco pratico perché i pannelli non erano calpestabili e prevedevano una manutenzione complessa. Sotto, sono mostrate alcune immagini significative delle diverse alternative progettuali (Figura 3).



*Figura 3 – Alternative progettuali per la copertura proposta alla Soprintendenza (©Valentina Cari)*

In un secondo tempo è stato creato un tavolo tecnico di lavoro con Solbian e Prefa e definito un terzo prototipo, con pannelli calpestabili, sottili, efficienti e perfettamente mimetizzati con la copertura. La copertura inoltre ricalca tipologie e materiali che sin dall'ottocento sono stati utilizzati in edifici anche di pregio sul Lago di Como (Figura 4).



*Figura 4 - La scelta finale dell'integrazione del fotovoltaico in copertura (©Valentina Cari)*

Tutte queste ricerche sono state condotte in stretta collaborazione con la Soprintendenza che ha vigilato in modo molto puntuale, su tutto il percorso di ricerca, dando spunti di riflessione stimolanti. Il concept è nato in un periodo in cui anche la normativa stava cambiando, radicalizzando la sua posizione nei confronti dell'utilizzazione smodata della tecnologia fotovoltaica in contesti sensibili dal punto di vista ambientale. L'impianto ha preso forma proprio a ridosso della promulgazione della norma regionale IX/2727 del 2011 che specificava in modo esaustivo in quali forme e in quali casi l'utilizzo della tecnologia fotovoltaica fosse ammissibile, escludendo a meno di interventi innovativi dal punto di vista dell'integrazione architettonica, l'utilizzo degli impianti fotovoltaici in centri storici e nei contermini dei laghi.

#### **4. BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS (BiPV)**

Il progetto di ristrutturazione della villa è stato fortemente connotato dalla ricerca della maggior autonomia energetica possibile e dal rispetto massimo per il contesto ambientale e architettonico. Nel senso dell'autonomia va vista la scelta di installare un impianto fotovoltaico di 10 kWp, scelta basata in parte sulla stima di alcuni possibili consumi futuri, in parte proprio dalla necessità di aumentare al massimo la produzione di elettricità rispetto alla superficie disponibile. Per quanto riguarda invece l'aspetto architettonico e ambientale, nel rispetto dei vincoli imposti dalla Soprintendenza ai Beni Architettonici, si è optato per un campo fotovoltaico totalmente integrato sulla copertura in lamiera, utilizzando i pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino prodotti dall'azienda Solbian. Questa tecnologia nasce in cooperazione con il CNR e trova la sua specificità in un innovativo processo di laminazione delle celle monocristalline, che utilizza speciali e selezionati tecnopolimeri come incapsulanti. In tal modo si ottengono pannelli caratterizzati da un peso che si aggira sui 2,1 kg/m<sup>2</sup>, da uno spessore esiguo (meno di 2 mm), e da una flessibilità che rende possibile ottenere un raggio di curvatura inferiore ad un metro. Inoltre, essendo nati per applicazioni marine dove leggerezza, flessibilità ed efficienza sono le doti fondamentali, i pannelli Solbian presentano una notevole resistenza agli agenti atmosferici, verificata con successo attraverso i test a cui sono stati sottoposti e dallo storico delle installazioni effettuate.

Nel caso specifico del progetto per la villa, i pannelli sono stati direttamente incollati sulla superficie in alluminio della copertura con un biadesivo strutturale specifico che possiede un coefficiente di dilatazione termica confrontabile con quello della copertura. Questo ha permesso al sistema biadesivo e pannello di lavorare entro un *range* di dilata-

zioni termiche che potesse adattarsi alle diverse condizioni climatiche che si trovava ad affrontare. Per minimizzare l'impatto visivo dei pannelli si è scelto un *backsheet* colorato che riprendesse il colore della copertura.

La disposizione dei pannelli sulla copertura è nata da una stretta sinergia tra gli aspetti architettonici ed estetici e quelli prettamente ingegneristici. Da una parte si è voluto seguire le linee di simmetria e peculiari della copertura, che è costituita da diverse falde dall'orientazione variegata, e dall'altra si è dovuto tener conto degli ombreggiamenti importanti che alcune piante secolari del giardino storico producono su ampie zone della stessa (Figura 5).

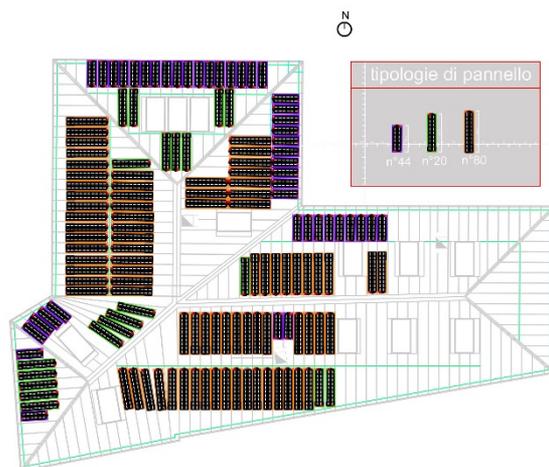


Figura 5 - Pianta della copertura con inserito l'impianto fotovoltaico (© Myriam Perna)

La superficie captante è pari a 10 kWp e sfrutta in maniera ottimale l'estensione della copertura e assicura un basso impatto visivo. Durante la fase di progettazione, curata direttamente da Solbian, si è utilizzato un diagramma solare che, simulando l'andamento degli ombreggiamenti nel corso della giornata e nell'intero arco di un anno, ha consentito una stima della media delle perdite mensili dovute agli stessi (Figura 6).

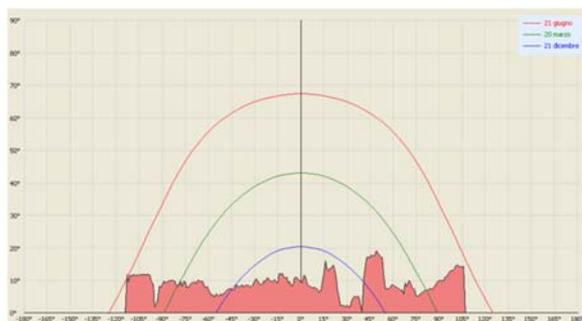


Figura 6 - Diagramma solare che simula l'andamento degli ombreggiamenti nell'arco di un anno che è stato utilizzato per stimare la media delle perdite mensili dovute agli stessi (© Myriam Perna)

Naturalmente, oltre che per la prospettiva architettonica, si è cercato di ottimizzare anche la produzione fotovoltaica, produzione che ha le migliori prestazioni quando ci si trova nelle condizioni di un buon orientamento sud o sud-ovest, con una inclinazione che per le nostre latitudini dovrebbe aggirarsi intorno ai 30°. Il campo fotovoltaico ottenuto, nello specifico del progetto, si può così pensare suddiviso in 4 sotto-campi principali che si differenziano per l'angolo di tilt e di azimuth: (i) Azimuth -30° Tilt 30°; (ii) Azimuth 40° Tilt 30°; (iii) Azimuth 150° Tilt 30°; (iv) Azimuth 180° Tilt 30°. Dal punto di vista della potenza del campo fotovoltaico si distinguono 6 diverse stringhe (Figura 7), secondo la seguente disposizione:

- 1 stringa di 21 moduli collegati in serie;
- 3 stringhe di 23 moduli collegati in serie;
- 1 stringa di 26 moduli collegati in serie;
- 1 stringa di 27 moduli collegati in serie.



Figura 7 - Dettaglio della copertura e del pannello fotovoltaico (© Myriam Perna e Valentina Cari)

Al fine di evitare perdite elettriche per *mismatching*, i campi fotovoltaici con differenti esposizioni sono stati collegati a 3 inverter monofase distinti, con ingressi indipendenti (2 MPPT indipendenti). Questo ha permesso di ottenere 6 differenti canali di ingresso per la produzione fotovoltaica (Figura 8).

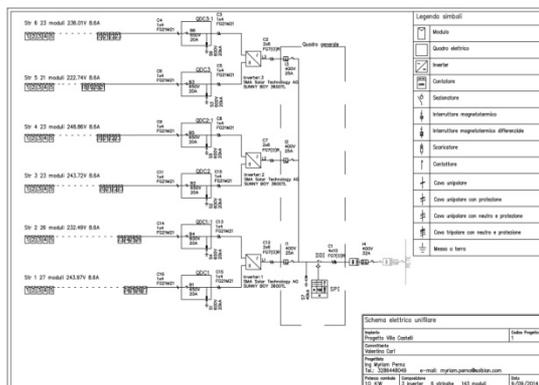


Figura 8 – Schema dell'impianto fotovoltaico (©Myriam Perna)

Lo sforzo progettuale si è rivolto principalmente alla ricerca della sintesi necessaria tra le due prospettive dell'orientazione delle falde e della migliore producibilità; in questo modo si è ottenuto un bilanciamento di potenza ottimale tra i 3 inverter di 3,6 kW

monofase. Infine, per limitare al minimo l'impatto visivo dell'impianto fotovoltaico non sono state utilizzate opere di canalizzazione per i cavi di collegamento tra i pannelli e tra le diverse stringhe, utilizzando, invece, le strutture già presenti sulla copertura, barre paraneve e alzate delle centine.

## 5. VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ESTETICO

L'impatto estetico della copertura è stato valutato seguendo i criteri indicati delle linee guida per l'integrazione dei sistemi fotovoltaici nelle coperture storiche realizzate nel progetto di ricerca "*Sustainable Renovation of Historical Buildings*" (SuRHIB) (7). I criteri oggetto di analisi sono: (i) planarità; (ii) rispetto delle linee; (iii) raggruppamento dei pannelli; (iv) rispetto della forma e delle proporzioni della falda; (v) cura dei dettagli e (vi) impatto estetico. Nel disegno sottostante sono state selezionate alcune fotografie rappresentative che mostrano il rispetto dei suddetti requisiti (Figura 9).



Figura 9 – Valutazione dell'impatto estetico dei pannelli in riferimento ai criteri definiti nel progetto di ricerca SuRHIB (©Magdalena Tabak)

Analogamente, la Soprintendenza responsabile del progetto ha valutato come criteri fondamentali nell'integrazione: (i) le caratteristiche estetiche dei pannelli (colore e finitura superficiale); (ii) la loro disposizione geometrica in rapporto alla sagoma delle falde e all'orientamento dell'edificio (forma dell'impianto, modularità); (iii) l'aderenza e la complanarità alla copertura; (iv) le superfici non riflettenti; (v) la percepibilità dall'interno, con particolare riferimento alla quota strada, del lago e del paesaggio circostante. Il design del pannello è stato appositamente disegnato per rispettare la forma triangolare o trapezoidale delle falde, cercando di favorire il più possibile la percezione di un rivestimento omogeneo dell'intera superficie. Tutti i pannelli, inoltre presentano il medesimo orientamento, coerente con quello generale del fabbricato, al fine di minimizzare la loro percepibilità dall'interno.

## 6. GESTIONE ICT

Una analisi dei consumi primari e finali di energia nel nostro Paese rivela negli ultimi anni un trend di crescita per entrambe le tipologie. A questa quota crescente di consumi corrisponde un forte spostamento della produzione energetica verso le fonti rinnovabili. La fine delle forme di incentivazione economica e una crescente incertezza sulla tariffazione energetica, da una parte ha contribuito ad un rallentamento dello sviluppo del settore, e dall'altra a ha reso stringente una gestione energetica sempre più improntata all'autoconsumo dell'energia prodotta. L'autoconsumo, oltre a garantire un risparmio diretto, protegge in parte il gestore dell'impianto dagli aumenti dei prezzi dell'energia elettrica e lo solleva dall'urgenza della remunerazione dell'energia immessa.

In questa ottica, i presupposti per ottenere i due suddetti obiettivi sono da una parte avere un rapporto ben proporzionato tra produzione fotovoltaica e consumi e dall'altra un profilo di carico il più possibile ottimizzato. Il sistema implementato per l'impianto di Villa Castelli è costituito dagli inverter, da un sistema di monitoraggio e misurazione della produzione e consumi e da una serie di radio prese che permettono la gestione diretta dei carichi privilegiati dell'impianto.

Il sistema di monitoraggio riceve continuamente i dati di produzione fotovoltaica e i dati di immissione e prelievo di energia dalla rete. Inoltre, attraverso i dati meteorologici disponibili, determina una previsione di producibilità e, in base a quest'ultima, razionalizza l'attivazione automatica dei carichi controllati.

Questo processo ottimizza l'utilizzo dell'impianto sovrapponendo i dati di produzione e consumo e permette, soprattutto in caso di quota di energia prodotta in eccesso, di aumentare dinamicamente l'autoconsumo attraverso l'attivazione dei carichi comandati. Una analisi a posteriori, realizzata attraverso una serie di report sia giornalieri che mensili, ha consentito di valutare il profilo di carico dell'abitazione e di prevedere quali tariffe o fasce di consumo possano diventare più convenienti e di stimare, in seguito ad una analisi costi-benefici, l'implementazione di un sistema di accumulo da integrare nella struttura esistente (Figura 10).



*Figura 10 - Il software di gestione del sistema fotovoltaico: panoramica e funzionamento allo stato attuale dell'impianto*

Nell'ultimo semestre il sistema fotovoltaico della Villa ha prodotto 4148,12 kWh di cui auto-consumati 3944,31 kWh e 203,80kWh immessi in rete. Da questi primi dati si deduce che vi è un uso razionale dell'energia prodotta dove il 98% viene auto-

consumata. Un dato rilevante è anche il prelievo dalla rete che corrisponde a 3507,50 kWh in particolar modo nei mesi invernali, ovvero quando la produzione del PV è minima e da un punto di vista anche climatico vi è la necessità di maggiore energia. Prendendo ad esempio una giornata tipo, ad esempio il 30 Luglio 2016, si nota che la maggior produzione si ha tra le 13.00 e le 16.00 con un picco alle 15 di 4,4 kWh. Contemporaneamente l'uso dell'energia risulta più alto proprio nelle ore di massima produzione (Figura 11).



Figura 11 – Bilancio energetico mensile e giornaliero dell'impianto fotovoltaico

## CONCLUSIONI

In conclusione, il progetto mostra come un'integrazione tra l'edificio storico e l'inserimento di fonti rinnovabili sia possibile attraverso un progetto attento e dettagliato, che sappia integrare saperi diversi afferenti al campo della conservazione del patrimonio culturale, della progettazione architettonica, del design e dell'ingegneria energetica. In particolare, nonostante l'edificio sia soggetto a un vincolo paesaggistico (17, art. 136 comma 1 lettera b e c), l'inserimento di fonti rinnovabili porta a una valorizzazione dei caratteri estetici dell'edificio in sé e del paesaggio circostante. La “modifica dei suoi caratteri estetici” (17, art. 136 comma 1 lettera b e c), pertanto, può anche essere intesa in senso positivo, come miglioramento dell'inserimento dell'edificio nel contesto.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Baldescu I., Barion F., a cura di, 2011, *Fotovoltaico: prontuario per la valutazione del suo inserimento nel paesaggio e nei contesti architettonici*, Venezia: Direzione regionale per i beni culturali e paesaggistici del Veneto.
- 2 Energie Tirol, 2015, *Solar und Photovoltaikanlagen planen und gestalten*, Innsbruck: Energie Tirol.
- 3 English Heritage, 2010, *Small-scale solar electric (photovoltaics) energy and traditional buildings*, London: English Heritage.
- 4 Lucchi E., Garegnani G., Maturi L., Moser D., 2014., *Architectural integration of photovoltaic systems in Historic districts. The case study of Santiago de Compostela*, International Conference in Energy Efficiency in Historic Buildings, Madrid, settembre 2014.

- 5 Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBACT), 2015. *Linee di Indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio culturale: Architettura, centri e nuclei storici ed urbani*, Roma: MiBACT.
- 6 Polo Lòpez C. S., 2012, *Recupero sostenibile di edifici storici: concetti di integrazione solare*, Lugano-Canobbio: Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana.
- 7 Polo Lòpez C. S. et alii, 2012, *Optimization of Energy Interventions in Building of historical-Architectonical value (ENBAU)*, Lugano-Canobbio: Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana.
- 8 Progetto di ricerca 3encult “*Efficient Energy for EU Cultural Heritage*”, [www.3encult.eu](http://www.3encult.eu).
- 9 Progetto di ricerca SECHURBA “*Sustainable Energy Communities in Historic URban Areas*”, [www.sechurba.eu](http://www.sechurba.eu).
- 10 Scognamiglio A., Di Munno E., Temporin V., Palumbo L. M., *Use of photovoltaic in Historical buildings: an architectural approach*, <http://www.inarch.it> (acc. 10/8/2016).
- 11 Ufficio della natura e del paesaggio, 2010, *Pannelli solari nei nuclei storici: Criteri di posa e di valutazione paesaggistica (Linee Guida)*, Bellinzona: Dipartimento del territorio.
- 12 Zimmermann M., 2013, *Sustainable Renovation of Historical Buildings (SuRHiB)*, da [www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file)

#### *Direttive Europee*

- 13 Parlamento Europeo. 2010. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 Maggio 2010 sulla prestazione energetica dell'edilizia.
- 14 Parlamento Europeo. 2009. Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE
- 15 Decreto Ministeriale. 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prestazioni e dei requisiti minimi degli edifici. In S.o. n.39 della Gazzetta Ufficiale del 15 Luglio 2015, n 162.
- 16 Decreto Legislativo. 28/2011. Attuazione della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
- 17 Decreto Legislativo. 42/2004. Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137.