



SOTTILE, messa a punto di un componente BIPV innovativo per l'integrazione architettonica

◆ Niccolò Aste¹, Claudio Del Pero², Fabrizio Leonforte³

1, 2, 3 Politecnico di Milano

DOI: [10.63111/QES-2025.1.0004](https://doi.org/10.63111/QES-2025.1.0004)

ABSTRACT

I sistemi fotovoltaici integrati negli edifici (BIPV) stanno suscitando un interesse crescente nel settore delle costruzioni, in quanto permettono di abbattere le emissioni di CO₂, svolgendo al contempo funzioni tipiche dei componenti edilizi tradizionali, come l'impermeabilizzazione all'acqua. Tuttavia, i sistemi fotovoltaici tradizionali devono spesso affrontare sfide legate all'estetica e all'integrazione architettonica con componenti esistenti. In questo ambito, SOTTILE (Solar Technological TILE), sviluppato nel progetto europeo H2o2o HEART coordinato dal Politecnico di Milano, rappresenta una soluzione innovativa per trasformare con estrema facilità una falda o un tetto tradizionale in un generatore di elettricità solare.

SOTTILE è un sistema formato da elementi componibili secondo la geometria e le dimensioni desiderate ed appositamente progettato per l'installazione su coperture a falda, in abbinamento con qualsiasi tipo di tegola. Può essere utilizzato, infatti, in sostituzione del manto in laterizio esclusivamente nelle porzioni destinate all'impianto solare, mentre le restanti porzioni del tetto possono essere rivestite con elementi tradizionali.

Ciascun elemento di SOTTILE è formato da un supporto modulare in plastica riciclata, su cui si aggancia il laminato fotovoltaico. L'intero sistema ed i suoi sub-componenti sono progettati per essere montati e smontati rapidamente, agevolando notevolmente le pratiche di installazione, manutenzione e dismissione.

INTRODUZIONE

Per raggiungere l'obiettivo stabilito dall'Accordo di Parigi di contenere l'aumento della temperatura globale entro $1,5^{\circ}\text{C}$, sarà essenziale decarbonizzare completamente il settore della generazione di energia elettrica entro la metà del secolo. In questo processo, l'energia solare ed eolica giocheranno un ruolo centrale, guidando la transizione energetica globale [2].

Ad oggi, il fotovoltaico si distingue per il più alto tasso di crescita annuale e per il costo livellato dell'energia (LCOE) più competitivo tra tutte le fonti rinnovabili [3], confermandosi come il pilastro su cui si baserà un futuro sistema energetico a zero emissioni. Secondo l'Agenzia Internazionale per le Energie Rinnovabili (IRENA), uno scenario compatibile con l'obiettivo di $1,5^{\circ}\text{C}$ richiederà l'installazione di oltre 3.500 GW_p di capacità fotovoltaica entro il 2030, mentre entro il 2050 si stima che la capacità globale supererà i 15.000 GW_p [4].

Negli ultimi due decenni, il fotovoltaico ha dimostrato una crescita straordinaria: tra il 2011 e il 2021, il tasso di incremento delle installazioni ha raggiunto il 30%, portando la capacità globale a oltre $1,6 \text{ TW}_p$ alla fine del 2023 [1]. Questi numeri sottolineano il ruolo sempre più rilevante del fotovoltaico nella transizione verso un sistema energetico sostenibile e decarbonizzato.

A livello nazionale, la potenza fotovoltaica totale attesa per il mercato italiano tra il 2023 e il 2030, è pari in media a $5 \text{ GW}_p/\text{anno}$ [4]. Di questa quota, in media, circa il 62% del mercato italiano è attribuibile alle installazioni su edifici del tipo BIPV (Building Integrated PhotoVoltaic) e BAPV (Building Attached PhotoVoltaic).

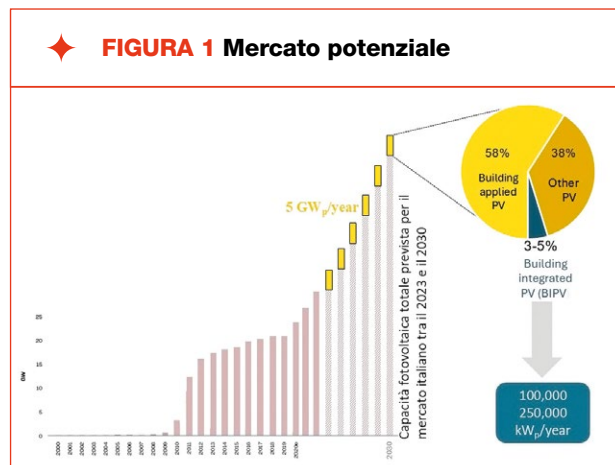
Nelle installazioni BAPV, i moduli fotovoltaici non sostituiscono i componenti dell'edificio o dell'involucro. Essi possono essere montati su strutture di supporto appositamente realizzate, ad esempio su tetti piani, o sovrapposti, come nel caso di tetti inclinati. La loro funzione è esclusivamente quella di produrre energia, senza contribuire alle prestazioni dei materiali dell'involucro edilizio, fatta eccezione per la riduzione del carico solare grazie all'ombreggiamento del tetto dalla radiazione solare diretta [6]. Al contrario, nelle configurazioni BIPV, i moduli fotovoltaici diventano parte integrante dell'edificio, sostituendo i materiali tradizionali e svolgendo al contempo la funzione di involucro edilizio e generatore di energia [7]. Tra queste due categorie, il BIPV presenta prospettive di mercato particolarmente promettenti. Gli ostacoli del passato stanno progressivamente diminuendo, mentre in molti Paesi

la pressione normativa per migliorare l'efficienza energetica degli edifici e decarbonizzarne l'approvvigionamento energetico è sempre più stringente. Questi requisiti energetici, spesso accompagnati da esigenze architettoniche ed estetiche rigorose, trovano una soluzione ideale nelle tecnologie BIPV ben progettate. Inoltre, la crescente consapevolezza nel settore edilizio riguardo ai vantaggi del BIPV, combinata con la costante riduzione dei costi, contribuisce a rendere queste soluzioni sempre più accessibili e apprezzate.

Le recenti crisi energetiche, insieme a iniziative come il programma Solar Rooftops [5], volto a sfruttare il vasto e ancora sottoutilizzato potenziale dei tetti per la produzione di energia pulita, hanno giocato un ruolo cruciale nel crescente interesse per i moduli fotovoltaici integrati nelle coperture degli edifici. Questo contesto ha favorito una rapida diffusione degli impianti fotovoltaici sia su edifici residenziali sia commerciali di piccola e media taglia, che garantiscono di prendere decisioni di investimento in tempi brevi e di procedere con installazioni rapide, grazie a processi autorizzativi semplificati o, in alcuni casi, del tutto assenti.

A livello nazionale, la quota BIPV è stimabile tra il 2% ed il 5% del totale [8] con una quota totale di impianti BIPV prevista per il mercato italiano compresa tra 100.000 e $250.000 \text{ kW}_p/\text{anno}$.

Per evitare dunque che il BIPV rischi di rimanere una nicchia sia del settore delle costruzioni che di quello fotovoltaico, poiché la concorrenza con le altre soluzioni tradizionali è forte, è necessario sviluppare soluzioni innovative, economicamente



competitive e tecnologicamente avanzate, in grado di coniugare efficienza energetica, integrazione architettonica ed estetica.

In questo contesto, il Politecnico di Milano ha sviluppato, nell'ambito del progetto HEART (Holistic Energy and Architectural Retrofit Toolkit) [9], finanziato dal programma di ricerca e innovazione Horizon2020 promosso dall'Unione Europea, il componente SOTTILE (acronimo di SOLar Technological TILE) [10]. Si tratta di una soluzione pratica, efficiente ed innovativa per l'integrazione architettonica della tecnologia fotovoltaica negli edifici.

Il concept è improntato alle logiche dell'Architettura Sostenibile e dell'Economia Circolare e la sua applicazione consente di trasformare con estrema facilità un tetto tradizionale in un generatore di elettricità solare, in abbinamento con praticamente qualsiasi tipo di copertura in tegole. Questa tipologia di rivestimento, infatti, è molto diffuso in Italia per ragioni storiche, culturali e climatiche. Le tegole in argilla, terracotta o ardesia sono un elemento iconico dell'architettura italiana, particolarmente diffuso nell'edilizia tradizionale. Dal momento che circa il 30% del patrimonio costruito italiano (pari a 12,5 milioni di edifici) è stato costruito prima del 1945, si può ragionevolmente assumere che una gran parte di questi tetti siano realizzati con tegole, dove SOTTILE potrebbe trovare la propria applicazione.

Più nel dettaglio, ciascun elemento di SOTTILE è formato da un supporto modulare in plastica riciclata, su cui si aggancia il laminato fotovoltaico (realizzato in diverse colorazioni), con celle al silicio cristallino. L'intero sistema ed i suoi sub-componenti sono progettati per essere montati e smontati rapidamente, agevolando notevolmente le pratiche di installazione, manutenzione e dismissione.

Questo componente o prodotti simili potrebbero espandere in modo significativo l'applicazione della tecnologia fotovoltaica sugli edifici, poiché combina caratteristiche uniche che rispondendo al contempo ai vincoli normativi per gli edifici a energia positiva [11] e agli obiettivi del New European Bauhaus [12], che promuove soluzioni sostenibili che rispondono a esigenze che vanno oltre la funzionalità.

Sviluppo di un sistema di copertura fotovoltaico

Come già introdotto, i sistemi fotovoltaici tradizionali devono spesso affrontare sfide legate all'estetica, all'efficienza e all'integrazione con il design architettonico. La progettazione di un nuovo componente fotovoltaico specificamente concepito per l'integrazione negli edifici richiede un approccio multidisciplinare che tenga conto non solo delle prestazioni tecniche, ma anche dell'estetica, dell'economicità e della facilità di installazione. In questo modo, è possibile superare i

principali problemi (ad esempio, costo, dimensioni, montaggio) che di solito frenano la diffusione di questi prodotti sul mercato. Il processo di progettazione e sviluppo applicato per SOTTILE è stato organizzato secondo un metodo circolare e iterativo che, attraverso l'analisi multicriteriale e dei requisiti, ha permesso il progressivo affinamento delle ipotesi di implementazione, fino a convergere sulla soluzione migliore in termini di prestazioni, costi e sostenibilità.

Innanzitutto, è stato effettuato un esame dettagliato dei criteri di prestazionali previsti, delle specifiche, dei requisiti estetici, dei contesti applicativi e del costo delle soluzioni attualmente sul mercato. Analizzando sistematicamente queste informazioni, è stato possibile ottenere una chiara comprensione dei vincoli che il nuovo componente deve rispettare durante il processo di ottimizzazione. A tale proposito, nell'ambito del progetto è stata effettuata un'analisi tecnica dei sistemi di copertura tradizionali (realizzati generalmente con tegole di argilla), in combinazione ad un'analisi di mercato dei componenti fotovoltaici commerciali idonei ad essere integrati in coperture in tegole. Dall'analisi di mercato è emerso che la dimensione del lato minore del componente è spesso progettata per corrispondere all'altezza di una fila di tegole (tipicamente 40 cm per una tegola standard). Questo accorgimento consente una perfetta integrazione visiva tra le tegole solari e quelle convenzionali, garantendo un risultato esteticamente armonioso. Per quanto riguarda la larghezza, possiamo tipicamente distinguere due soluzioni:

- tegole fotovoltaiche di piccole dimensioni, con una larghezza simile a quella delle tegole tradizionali, che si integrano perfettamente nella copertura del tetto. Queste soluzioni garantiscono un'elevata capacità di riempimento e un'estetica ottimale, grazie alla loro armoniosa fusione con le tegole convenzionali. Tuttavia, presentano una minore efficienza energetica e costi più elevati, rendendole meno vantaggiose dal punto di vista economico;
- tegole fotovoltaiche con larghezze maggiori, più efficienti nella produzione di energia e generalmente più convenienti dal punto di vista economico. Tuttavia, presentano una capacità di integrazione inferiore, tipicamente alterando l'aspetto estetico rispetto ai materiali esistenti. Inoltre, i componenti più grandi riducono la flessibilità progettuale e risultano meno maneggevoli durante l'installazione, limitando in parte le possibilità di applicazione in contesti complessi.

Un altro aspetto che la progettazione delle nuove tegole fotovoltaiche ha preso in considerazione è relativo alle potenziali irregolarità e non planarità del substrato del tetto, tipiche dei tetti esistenti, che possono porre problemi nell'applicazione dei sistemi fotovoltaici tradizionali sul patrimonio esistente. A questo proposito, le soluzioni di montaggio mo-

dulari e flessibili e i materiali leggeri minimizzano la necessità di modifiche strutturali, riducendo i costi e la complessità dell'installazione.

I principali requisiti utilizzati per la progettazione del nuovo sistema sono stati definiti sulla base delle norme UNI 9460 e EN 50583 e sono riassunti nella Tabella 1.

Sulla base delle valutazioni precedenti, il sistema SOTTILE è stato progettato con un formato modulare rispetto alle tradizionali tegole standard, composto da due elementi principali: il laminato fotovoltaico e il telaio di supporto. Quest'ultimo funge da interfaccia tra il laminato fotovoltaico e la copertura dell'edificio, garantendo un perfetto adattamento con le tegole tradizionali, tra le quali viene inserito.

Per soddisfare i requisiti di flessibilità e leggerezza e ridurre al minimo l'energia incorporata, il telaio di supporto è stato realizzato con una miscela plastica composta fino all'80% da materiale riciclato, resistente ai raggi UV e autoestinguente (classificazione V2-UL 94). La miscela plastica scelta è costituita da polietilene lineare e a bassa densità (LLDPE/LDPE - 30%), polietilene ad alta densità (HDPE - 30%) e polipropilene (PP - 40%). Il polipropilene conferisce rigidità e resistenza strutturale, mentre LDPE e LLDPE assicurano una buona resistenza agli urti.

Il telaio è progettato con una struttura perimetrale rafforzata da irrigidimenti intermedi, rendendolo leggero e robusto. Questa configurazione permette di ridurre i costi, il peso e l'e-

◆ **TABELLA 1** Requisiti considerati durante la fase di progetto

Categoria	Requisiti	Descrizione
Resistenza meccanica	Capacità di carico e resistenza meccanica	Le tegole fotovoltaiche devono resistere a carichi statici e dinamici, compresi vento, neve e qualsiasi altro carico aggiuntivo.
	Resistenza agli urti	Il sistema deve resistere alle forze d'urto della grandine, della caduta di rami o di altri detriti senza incrinarsi o rompersi
	Flessibilità	Elevata adattabilità alle sottostrutture esistenti (ad esempio, superfici di copertura irregolari)
Caratteristiche geometriche	Compatibilità con le piastrelle tradizionali	Le tegole fotovoltaiche devono sostituire agevolmente le principali tipologie di tegole tradizionali, avendo quindi la stessa larghezza (~ 40 cm) e sovrapposizione di applicazione
Classificazione antincendio	Resistenza al fuoco	Le tegole fotovoltaiche devono essere incombustibili o autoestinguenti per evitare la propagazione del fuoco.
Resistenza alle intemperie	Impermeabilizzazione	Il sistema deve garantire la protezione totale, anche senza una specifica barriera all'acqua e al vento sottostante, su qualsiasi tipo di tetto inclinato con inclinazione superiore a 12°.
	Protezione dal vento	
	Resistenza al gelo	Il sistema deve essere in grado di resistere ai cicli di gelo e disgelo senza subire degradazioni, garantendo la durata nei climi freddi
Sicurezza e accessibilità	Installazione facile e sicura	Le tegole devono essere progettate per un'installazione sicura; devono essere maneggiabili da un solo operatore, riducendo il rischio che le tegole si stacchino o causino lesioni.
Caratteristiche chimiche e fisiche	Resistenza ai raggi UV	Il colore e l'integrità strutturale delle tegole devono rimanere stabili anche in caso di esposizione prolungata alla luce solare.
	Resistenza alla temperatura	Le caratteristiche geometriche e le proprietà delle tegole devono rimanere stabili in condizioni di temperatura e umidità variabili, evitando deformazioni o fessurazioni
Durata e affidabilità	Lunga durata di vita	Il sistema deve garantire una vita utile di 25 anni o più, con variazioni minime delle prestazioni e requisiti di manutenzione.
	Manutenzione limitata	Le tegole devono essere facili da pulire e da sostituire e la manutenzione deve riguardare principalmente l'ispezione della struttura del tetto
Altro	Densità di potenza medio-alta	La densità di potenza deve essere superiore a 120 W/m ² per limitare la superficie necessaria.
	Costo-efficacia	Il costo totale del sistema non dovrebbe superare 1,3 €/Wp per garantire un LCOE (Levelized Cost Of Energy) competitivo.
	Compatibilità ambientale	Il processo di produzione deve ridurre al minimo l'impatto ambientale e i materiali devono essere riciclabili.

nergia incorporata rispetto alle soluzioni disponibili sul mercato, offrendo al contempo un prodotto più efficiente e sostenibile.

In questo senso, le soluzioni adottate per minimizzare l'energia incorporata e favorire il disassemblaggio e il riciclo a fine vita sono:

- utilizzo di plastica riciclata come substrato (circa 55 kgCO₂/kW - Dati dell'analisi LCA effettuata secondo la norma UNI EN ISO 14040:2021);
- assenza totale di alluminio nel componente (ad esempio, per telai o strutture di supporto);
- utilizzo di un processo di produzione all'avanguardia per il laminato fotovoltaico, al fine di garantire la classificazione di "Modulo solare a basse emissioni di carbonio" secondo la più recente classificazione EPEAT (Electronic Product Environmental Assessment Tool) (< 630 kgCO₂/kW);
- l'intero sistema è assemblato meccanicamente e non sono necessari collanti/sigillanti. Nella fase di smontaggio, il laminato fotovoltaico, gli strati di plastica e le viti

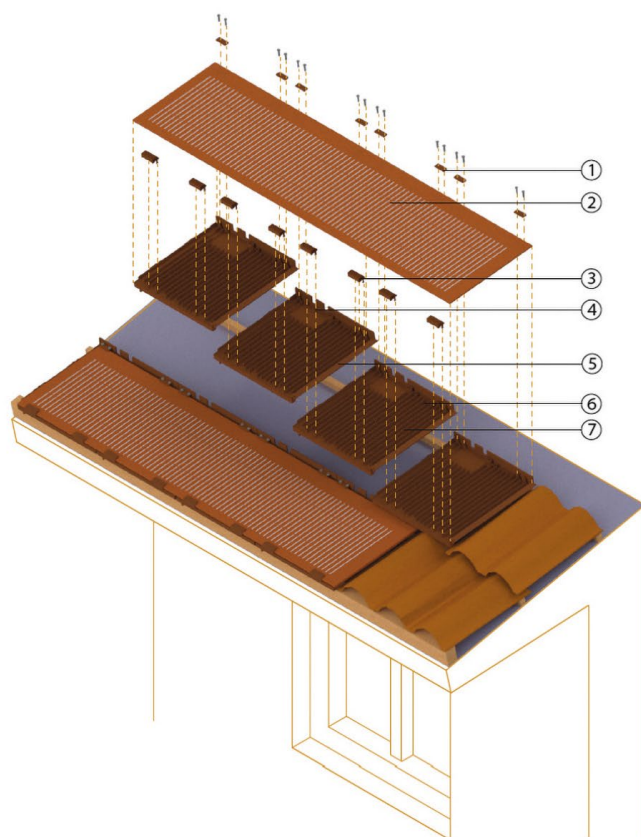
metalliche possono essere facilmente separati in cantiere, senza l'uso di strumenti speciali, e quindi avviati a processi di riciclaggio/riutilizzo.

Come si può notare dalla vista assonometrica di figura 2, l'impermeabilizzazione è garantita dalla sovrapposizione sia dei laminati, che creano un piano principale di scorrimento dell'acqua, sia degli elementi plastici modulari, che costituiscono lo strato impermeabile.

Si noti inoltre che il sistema di supporto consente uno scorrimento relativo rispetto alla struttura del tetto per rendere possibile la regolazione del componente nelle tre direzioni dello spazio. Per rendere possibile questa azione di scorrimento, il telaio di supporto combina asole che permettono la regolazione del punto di perforazione della vite e supporti del laminato fotovoltaico che ne permettono lo scorrimento rispetto alla sottostruttura.

Per quanto riguarda le dimensioni, è stata scelta una larghezza pari a quella delle tegole tradizionali (circa 0,4 m) e una lunghezza di circa 1,5 m, ritenuta il miglior compromesso

◆ FIGURA 2 Vista assonometrica del componente



tra flessibilità, maneggevolezza e costi. Il telaio di supporto di ciascun laminato fotovoltaico, invece, presenta la stessa larghezza del laminato stesso ma una lunghezza pari a un quarto di quella totale.

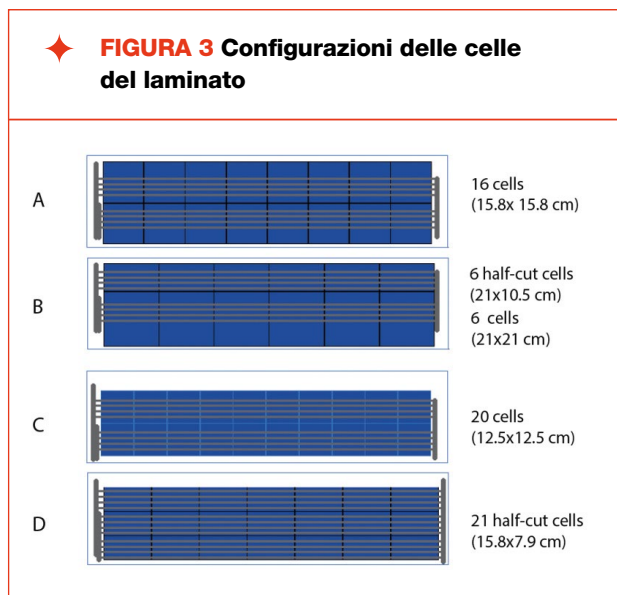
Questa configurazione è stata progettata per facilitare il processo produttivo del componente, realizzato tramite stampaggio ad iniezione, e per migliorare la gestione delle dilatazioni termiche grazie a speciali giunti flessibili. Inoltre, questa scelta incrementa la modularità del sistema, rendendolo più versatile e adatto a diversi contesti applicativi.

Ottimizzazione del componente fotovoltaico

Una volta definito il concept, è stata effettuata l'ottimizzazione della configurazione elettrica. L'obiettivo è massimizzare la produzione di energia del sistema riducendo al contempo i costi di produzione. Pertanto, le celle monocristalline sono state considerate il punto di partenza per gli ulteriori sviluppi. A tale proposito sono state considerate 4 diverse configurazioni realizzate con 3 diverse dimensioni di celle, come mostrato in Figura 3.

Le prime due configurazioni analizzate (A e B) sono state concepite per massimizzare la densità di potenza del modulo. In particolare, la configurazione A, composta da 16 celle tradizionali da 15,8x15,8 cm, raggiunge una superficie attiva pari all'81% del laminato complessivo. La configurazione B, invece, utilizza celle da 21x21 cm e celle tagliate a metà (half-cut), incrementando la superficie attiva all'83%. Tuttavia, entrambe le opzioni sono state scartate a causa della sovrapposizione dei moduli, che genera ombreggiature sulle parti attive delle celle. Successivamente, è stata testata una configurazione con celle da 12,5x12,5 cm, caratterizzata dal vantaggio di lasciare la parte superiore dei moduli priva di ombre. Tuttavia, questa soluzione riduce la superficie attiva al 64%, penalizzando la densità di potenza e aumentando il costo del componente. Per superare tali limitazioni, è stata progettata una nuova configurazione con 3 file di celle half-cut da 15,8x15,8 cm, che ha consentito di ottenere una superficie attiva pari al 73%. Questa soluzione è stata ritenuta la più equilibrata e soddisfacente.

◆ **FIGURA 3 Configurazioni delle celle del laminato**



◆ **FIGURA 4 Vista dei prototipi stampati in 3D**



Per migliorare l'integrazione estetica in diversi contesti e tipologie di tetti, sono stati sviluppati due colori distinti per il laminato: nero e color terracotta. Il laminato nero è stato progettato per una perfetta integrazione su tetti grigi o neri, come quelli in ardesia, oltre a garantire la massima efficienza fotovoltaica. Il laminato terracotta, invece, è stato pensato per edifici storici, spesso caratterizzati da tegole tradizionali in argilla, offrendo una soluzione esteticamente armoniosa e rispettosa del contesto architettonico.

Prototipazione e test preliminari

Successivamente si è passati alla fase di prototipazione del sistema, finalizzata a valutare il processo di assemblaggio, l'interazione tra il laminato fotovoltaico e la sottostruttura, il comportamento termico e l'impermeabilità in condizioni operative. A tale scopo, sono stati inizialmente realizzati diversi componenti attraverso la prototipazione rapida, utilizzando la tecnologia della stampa 3D. (Fig. 4)

Nella seconda fase di prototipazione, sono stati realizzati ulteriori campioni della sottostruttura utilizzando uno stampo provvisorio. L'obiettivo di questa fase era testare il processo di stampaggio e valutare la qualità dei componenti prodotti con la miscela plastica definitiva destinata alla produzione su larga scala.

Successivamente, i componenti realizzati sono stati sottoposti a test in condizioni operative per verificare l'espansione termica differenziale tra il laminato fotovoltaico e il telaio di supporto in plastica. Il test è stato condotto in ambiente esterno su un mockup di un tetto inclinato a Milano, durante una settimana estiva (luglio). In questo periodo, l'irraggiamento medio sulla superficie delle tegole è variato tra 600 e 950 W/m², con temperature giornaliere comprese tra 24°C

e 34,5°C. La temperatura massima registrata sulla superficie anteriore del laminato è stata di 61,5°C, mentre quella sul lato posteriore del telaio plastico ha raggiunto 45,3°C. I risultati hanno mostrato l'assenza di deformazioni sia nel substrato plastico sia nel laminato, confermando che l'allungamento differenziale tra i due componenti (che ha raggiunto un massimo di 4 mm) è stato completamente gestito dalla soluzione progettuale adottata. Inoltre, il test ha dimostrato l'efficacia della struttura in plastica con nervature verticali nel favorire la retroventilazione, contribuendo a limitare la temperatura operativa del laminato fotovoltaico, a ulteriore conferma delle prestazioni ottimali del sistema.

Test su casi di studio reali

Al termine della fase di prototipazione e di prima sperimentazione, la soluzione è stata ulteriormente testata in ambienti reali (TRL7) e precisamente su 3 diversi casi studio. Lo scopo di questa fase è quello di eseguire un'ampia campagna di test in condizioni operative reali, ovvero su edifici esistenti. Più in dettaglio, sono stati selezionati i 3 diversi edifici descritti di seguito; l'installazione sui 3 edifici è stata effettuata progressivamente, dal 2021 al 2024, testando le successive versioni del sistema di copertura fotovoltaica, come descritto di seguito.

- Edificio residenziale a Bagnolo in Piano (Italia) - 2021 - prima versione del sistema;
- edificio residenziale a Lione (Francia) - 2022 - seconda versione del sistema;
- edificio storico del terziario a Milano (Italia) - 2024 - versione finale del sistema.

Le caratteristiche specifiche dei 3 impianti dimostrativi sono riassunte nella Tabella 2.

◆ **TABELLA 2 Installazioni prototipali**

	Demo 1 (Bagnolo)	Demo 2 (Lione)	Demo 3 (Milano)
Configurazione delle celle	C - 20 cellule (12,5x12,5 cm)	C - 20 cellule (12,5x12,5 cm)	D - 21 celle tagliate a metà (15,8x7,9 cm)
Potenza delle tegole fotovoltaiche	58Wp	58Wp	60Wp
Colore	Laminato fotovoltaico: celle fotovoltaiche nere, backsheet nero, vetro trasparente. Substrato di plastica: color terracotta	Laminato fotovoltaico: celle fotovoltaiche nere, backsheet trasparente, vetro trasparente Substrato di plastica: color terracotta	Laminato fotovoltaico: celle fotovoltaiche nere, backsheet nero, vetro arancione. Substrato di plastica: color terracotta
Potenza totale dell'impianto	8,8 kWp	15,66 kWp	12,8 kWp
Orientamento/inclinazione	Sud-Ovest/24°	Sud-Est/27°	Sud/26°
Produttività prevista	9.300 kWh/a	14.100 kWh/a	14.300 kWh/a

◆ FIGURA 5 a) Demo 1, b) Demo 2, c) Demo 3, vista dall'alto, d) Demo 3, vista dal basso



Il processo di ottimizzazione incrementale è stato principalmente finalizzato a massimizzare l'integrazione estetica del componente (con particolare riferimento alla vista dalla strada), passando dalla versione con laminato fotovoltaico completamente nero della prima installazione, attraverso quella con backsheet trasparente che aumenta la visibilità del colore terracotta del substrato plastico, e infine l'ultima versione realizzata con un laminato ottimizzato dal punto di vista del colore al fine di ottenere la perfetta integrazione cromatica, senza penalizzare eccessivamente le prestazioni. Come si può notare, infatti, le prestazioni leggermente inferiori del laminato colorato sono state compensate dall'ottimizzazione della disposizione delle celle fotovoltaiche e dall'utilizzo di celle a più alta efficienza.

Va sottolineato che la terza applicazione riguarda un edificio storico, un contesto che presenta sfide peculiari per l'implementazione di soluzioni innovative come gli impianti

fotovoltaici. In particolare, l'installazione ha dovuto ottenere l'autorizzazione della locale Soprintendenza, un passo che implica una rigorosa valutazione dell'impatto estetico, culturale e architettonico del progetto sull'edificio stesso e sull'ambiente circostante. Tale processo richiede una progettazione accurata e spesso l'adozione di tecnologie avanzate che si integrino armoniosamente con le caratteristiche storiche e artistiche della struttura.

Il successo ottenuto rappresenta un traguardo significativo non solo dal punto di vista tecnico, ma anche dal punto di vista normativo e culturale, dimostrando come sia possibile coniugare innovazione tecnologica e conservazione del patrimonio storico. Questo risultato può fungere da modello per future installazioni in contesti simili, promuovendo un approccio sostenibile e rispettoso verso la valorizzazione dei beni culturali. ◆

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. IEA. PVPS: Snapshot of Global PV Markets 2024, 2024. Report IEA-PVPS T1-42
2. Bouckaert, S.; Pales, A. F.; McGlade, C.; Remme, U.; Wanner, B.; Varro, L.; Spencer, T. Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector, 2024.
3. SolarPower Europe. Global Market Outlook for Solar Power 2023 – 2027, 2023.
4. Schmela, M. Solar Power Europe EU Market Outlook. SolarPower Europe: Brussels, Belgium. 2020
5. EU. Solar energy. Available online: energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/solar-energy_en (accessed on 21 May 2024).
6. Peng, C.; Huang, Y.; Wu, Z. Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China. Energy and buildings 2011, 43(12), 3592-3598.
7. Ding, L.; Zhu, Y.; Zheng, L.; Dai, Q.; Zhang, Z. What is the path of photovoltaic building (BIPV or BAPV) promotion? --The perspective of evolutionary games, Applied Energy 2023 340, 121033.
8. IEA PVPS, National Survey Report of PV Power Applications in Italy 2021
9. <https://heartproject.eu/>
10. <https://www.sottile.solar/>
11. IEA. PVPS: Trends in photovoltaic applications, 2023.
12. EU New European Bauhaus. Available online: new-european-bauhaus.europa.eu/index_en (accessed on 21 May 2024).