

David Moser, Laura Maturi,
Eurac Research

david.moser@eurac.edu
laura.maturi@eurac.edu

Introduzione

Il fotovoltaico (FV) sta diventando la forma più economica di produzione di energia elettrica nella maggior parte dei paesi europei (Vartiainen *et al.*, 2020) raggiungendo un livello di costo che lo rende competitivo in diversi segmenti di mercato in cui il costo di generazione dell'elettricità da fotovoltaico ha già raggiunto la parità con i prezzi al dettaglio dell'elettricità. Gli elevati prezzi del gas naturale con conseguente aumento dei prezzi dell'elettricità sottolineano ulteriormente l'importanza della competitività del fotovoltaico e del derivato risparmio in bolletta per i proprietari di sistemi fotovoltaici.

Allo stesso tempo, il fotovoltaico è particolarmente adatto per l'integrazione in infrastrutture esistenti e nuove, ad esempio in edifici, tettoie, barriere acustiche e simili. Per questo motivo, il solare fotovoltaico rappresenta una tecnologia chiave per i *prosumer* a livello di edificio, distretto e città. La direttiva 2018:2001 (Direttiva Energie Rinnovabili REDII) e 2019:944 (Direttiva Regole comuni per il mercato interno dell'energia elettrica) hanno introdotto il concetto di autoconsumo collettivo (art. 21 REDII), comunità energetiche rinnovabile (art. 22 del REDII) e delle comunità energetiche dei cittadini (art. 16 del market design) oltre alla regolazione della gestione della domanda attraverso sistemi di aggregazione (art. 17 del market design) e *smart metering* (art. 19 del market design). Le direttive mirano a monitorare la rimozione di ostacoli e restrizioni ingiustificate allo sviluppo del consumo di elettricità autoprodotta e alle comunità energetiche e riconoscono che le rinnovabili distribuite e il coinvolgimento dei consumatori hanno reso l'energia comunitaria un modo efficace ed efficiente in termini di costi per rispondere ai bisogni e le aspettative dei cittadini in

merito a fonti energetiche pulite, servizi e partecipazione locale. Le comunità energetiche offrono un'opzione inclusiva per tutti i consumatori con un interesse diretto nella produzione, consumo o condivisione di energia. Le nuove norme contribuiscono all'obiettivo dell'UE di diventare il *leader* mondiale nella produzione di energia da fonti di energia rinnovabile, consentendo una maggiore flessibilità per accogliere una quota crescente di energia rinnovabile nella rete. Il passaggio alle energie rinnovabili e una maggiore elettrificazione sono fondamentali per raggiungere la *carbon neutrality* entro il 2050. Il nuovo design del mercato elettrico aiuterà quindi a raggiungere gli obiettivi fissati nel Green Deal europeo e contribuirà alla creazione di posti di lavoro e alla crescita.

Sfide e opportunità del settore edile verso una società energetica a basse emissioni di carbonio

La transizione verso una società energetica a basse emissioni di carbonio comporta diverse sfide rivolte ad architetti, ingegneri, progettisti e all'intero settore dell'edilizia, che rappresenta quasi il 40% dei consumi energetici e il 36% delle emissioni di anidride (Comunicazione della Commissione, 2016).

Architetti e ingegneri possono giocare un ruolo essenziale verso la transizione energetica ripensando il processo di progettazione e iniziando a concepire gli edifici in modi nuovi. Gli edifici non sono più semplici unità autonome che prendono energia dalla rete, ma stanno diventando elementi sempre più attivi della rete energetica consumando, producendo, immagazzinando e fornendo energia.

La transizione verso una società energetica a basse emissioni di carbonio comporta diverse sfide rivolte ad architetti, ingegneri, progettisti e all'intero

NEW HORIZONS OF THE ENERGY TRANSITION: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR THE BUILDING SECTOR

Introduction

Photovoltaic (PV) energy systems (or photovoltaics) are on their way to becoming the cheapest form of electricity production in most countries during the coming years (Vartiainen *et al.*, 2020). It has already reached a cost level that makes it competitive in several market segments in which the cost of generating electricity from PV has already reached parity with retail electricity prices (i.e. socket parity). High natural gas prices with high electricity prices as a consequence further highlight the importance of PV's competitiveness and bill savings for PV system owners.

At the same time, PV is particularly suited for integration into existing and new infrastructure, for example, in buildings, canopies, sound barriers, and the like. For this reason, solar PV represents a key technol-

ogy for prosumers at the building, district and city level. The directives 2018:2001 (Renewable Energy Directive REDII) and 2019:944 (Directive on Common Rules for the Internal Market for Electricity) introduced the concept of collective self-consumption (Art. 21 of REDII), renewable energy communities (Art. 22 of REDII) and citizen energy communities (Art. 16 of market design) in addition to regulations to bring about a response through aggregation (Art. 17 of market design) and smart metering systems (art. 19 of market design). The directives are aimed at monitoring the removal of unjustified obstacles and restrictions on the development of consumption of self-generated electricity and citizen energy communities, and they recognise that distributed energy technologies and consumer empow-

erment have made community energy an effective and cost-efficient way to meet citizens' needs and expectations regarding energy sources, services and local participation. Energy communities offer an inclusive opportunity for all consumers to have a direct stake in producing, consuming or sharing energy. The new rules contribute to the EU's goal of being the world leader in energy production from renewable energy sources by allowing more flexibility to accommodate an increasing share of renewable energy in the grid. The shift to renewables and increased electrification is crucial to achieving carbon neutrality by 2050. The new electricity market design will therefore help to achieve the goals set out in the European Green Deal and contribute to the creation of jobs and growth.

Questo nuovo paradigma sta influenzando il modo in cui l'involucro dell'edificio è concepito e progettato, in quanto c'è un urgente bisogno di sfruttare le superfici dell'involucro dell'edificio per raccogliere energia rinnovabile.

L'ambiente costruito ha un enorme potenziale per produrre una frazione significativa della domanda nazionale di elettricità, se in esso viene integrata la tecnologia fotovoltaica.

Secondo Solar Power Europe-Solar Buildings (SolarPowerEurope, n.d.), la distribuzione di energia solare su tutti i tetti idonei nell'UE soddisferebbe circa il 25% del suo consumo di elettricità. Tuttavia, oggi viene utilizzato solo il 10% del potenziale dei tetti dell'UE. Per quanto riguarda l'Italia, (Bizzarri *et al.*, 2020) mostra che l'elettricità che può essere generata coprendo solo il 2,5% della superficie occupata dagli edifici, sarebbe di circa 50 TWh/a (considerando circa 45GWp di capacità installata), ed è paragonabile alla capacità fotovoltaica extra che l'Italia ha previsto di installare entro il 2030 (*Integrated National Energy and Climate Plan*).

In questo contesto, la grande opportunità – e responsabilità – per architetti e ingegneri, è quella di fare della progettazione architettonica un volano per l'utilizzo dell'energia solare.

L'integrazione delle soluzioni solari nell'involucro edilizio pone tre sfide principali ad architetti e designer (Maturi and Adami, 2018): estetiche, tecnologiche/funzionali e energetiche. La sfida estetica si riferisce alla capacità della soluzione solare di essere inclusa nei principi linguistici e morfologici che governano il linguaggio architettonico dell'edificio. La sfida tecnologica/funzionale si riferisce alla capacità del sistema solare di sostituire i componenti tradizionali dell'edificio e alla sua connessione fisica con l'involucro dell'edificio. Infine, la sfida energetica si

riferisce alla capacità del sistema solare di essere integrato in modo efficiente nel sistema energetico dell'edificio/distretto attraverso un approccio di “energy-matching” (H2020 EU Energy Matching, n.d.), interagendo così con i carichi dell'edificio per massimizzare l'autoconsumo e produrre energia quando è effettivamente necessaria all'edificio/distretto.

Nuovi orizzonti

Come accennato nell'introduzione, a livello UE la direttiva 2018:2001 (Direttiva Energie Rinnovabili REDII) e 2019:944 (Direttiva su regole comuni per il mercato interno dell'energia elettrica) hanno aperto nuove possibilità di sostegno ad una partecipazione attiva dei consumatori nel settore del mercato dell'energia e consentire loro di agire come *prosumer*, comunità e altre forme attive di partecipazione alle attività energetiche. Dopo 18 mesi di sperimentazione in cui sono state ammesse comunità energetiche rinnovabile (REC) all'interno di un'area delimitata dalla cabina secondaria e con una potenza massima di 200 kWp di generazione distribuita, in Italia la direttiva REDII 2018:2001 è stata recepita con normativa nazionale con il decreto legislativo 2021:199. Il concetto di REC è stato esteso a un livello superiore, la cabina primaria, dove sono collegati centinaia di consumatori e *prosumer* e il limite di 200 kWp è stato portato a 1 MW. La possibilità di condividere l'energia ed essere remunerati sta ora creando un fermento in cui diversi *stakeholder* stanno cercando di capire come trarre vantaggio da questo cambio di paradigma. Ci sono diverse aziende che offrono soluzioni tecnologiche valide sul mercato, tuttavia, la sfida chiave non è tanto a livello tecnologico, bensì in termini di innovazione sociale. Sebbene il concetto di autoconsumo e condivisione

Challenges and opportunities for the building sector towards a low-carbon energy society

The transition towards a low-carbon energy society holds several challenges for architects, engineers, designers and the whole building sector, which accounts for almost 40% of energy consumption and 36% of carbon dioxide emissions (Communication from the Commission, 2016).

Architects and engineers can play an essential role towards energy transition by rethinking the design process and starting to conceive buildings in new ways. Buildings are more than just stand-alone units taking energy from the grid, they are becoming increasingly active elements of the energy network by consuming, producing, storing and supplying energy.

This shifting paradigm is affecting the way the building envelope is conceived

and designed, and there is an urgent need to exploit the building envelope surfaces to harvest renewable energy.

The built environment has huge potential to produce a significant fraction of the national electricity demand if photovoltaic technology is integrated into it. According to Solar Power Europe-Solar Buildings workstream (SolarPowerEurope, n.d.), deploying solar panels on all suitable rooftops in the EU would meet about 25% of its electricity consumption. However, today only 10% of the EU's rooftop potential is used. Regarding Italy, (Bizzarri *et al.*, 2020) shows that the total average electricity which can be generated by covering just 2.5% of the area occupied by buildings is around 50TWh/a (considering around 45GWp installed capacity), and it is comparable to the extra PV capacity Italy has planned to install by 2030 (*Integrated National Energy and Climate Plan*).

In this context, the great opportunity – and responsibility – for architects and engineers is to make architectural design a driving force for the use of solar energy.

The integration of solar solutions into the building envelope brings three main challenges to architects and designers (Maturi and Adami, 2018): aesthetic, technological/functional and energy. Aesthetic challenge refers to the capability of the solar solution to be included in the linguistic and morphological rules governing a building's architectural language. The technological/functional challenge refers to the solar system's capability to replace traditional building components and its physical connection to the building envelope. Finally, the energy challenge refers to the ability of the solar system to be efficiently integrated into the overall energy system of the building/district

through an “energy-matching” approach (H2020 EU Energy Matching, n.d.), thus interacting with the building loads to maximise self-consumption and producing energy when it is actually needed by the building/district.

New horizons: challenges and opportunities

As mentioned in the introduction, at EU level the Directives 2018:2001 (Renewable Energy Directive REDII) and 2019:944 (Directive on Common Rules for the Internal Market for Electricity) have opened up new possibilities for supporting the action of consumers in the energy market and allow them to act as *prosumers*, communities and other active forms of active participation in energy activities. After 18 months of experimentation where renewable energy communities (REC) were allowed within an area

dell'energia sia intuitivo, la sua attuazione e il modello di business della condivisione dei benefici non sempre può essere di facile comprensione. Per valutare correttamente la redditività di una comunità di energia rinnovabile, sono necessarie infatti informazioni sui profili di consumo che sono direttamente collegate all'occupazione e al comportamento degli utenti, entrambi difficili da valutare a priori e per il lungo periodo. Infine, la creazione di comunità con una maggiore consapevolezza energetica sarà utile per accelerare la decarbonizzazione ma anche per combattere la povertà energetica poiché i clienti con potere d'acquisto limitato potrebbero avere accesso a costi inferiori dell'elettricità e ottenere risparmi sulla bolletta energetica. L'integrazione ottimale del fotovoltaico come fonte di energia rinnovabile distribuita nell'ambiente costruito in combinazione con i sistemi di accumulo deve essere ottenuta mediante ottimizzazione integrata nel flusso di lavoro della progettazione: una strategia che attualmente manca in fase di progettazione. I principali strumenti software utilizzati dalla comunità del fotovoltaico sono dedicati principalmente alla simulazione e non includono analisi di ottimizzazione per la capacità e il miglior posizionamento dei sistemi FV e degli accumuli sulle superfici a disposizione su edificio e a livello di distretto in relazione alla domanda di energia elettrica. L'uso delle tecniche di ottimizzazione incluse negli strumenti di simulazione degli edifici non è lo stato dell'arte, sebbene la tecnica di ottimizzazione si adatterebbe bene al flusso di lavoro della progettazione architettonica, specialmente per un sistema BIPV. Infatti, se le caratteristiche principali del sistema BIPV sono note prima dello sviluppo del *concept* progettuale, possono concorrere alla sua formazione. Se invece si aggiungesse l'impianto fotovoltaico durante una fase

delimited by the secondary substation and with a maximum power of 200 kWp of distributed generation, in Italy the Directive REDII 2018:2001 has been converted into national legislation with Legislative Decree 2021:199. The concept of REC has been extended to a higher level, the primary substation, where hundreds of consumers and prosumers are connected and the limit of 200 kWp has been increased to 1 MW. The possibility to share energy and be remunerated for it is now creating a very vibrant framework where different stakeholders are trying to understand how to benefit from this paradigm shift. There are various companies that offer valid solutions in the market, however, the key challenge here is not at the technological level but rather in terms of social innovation. Although the concept of self-consuming and sharing energy is intuitive,

its actuation and understanding the business model and benefit sharing is not so straightforward. To properly assess the profitability of a renewable energy community, information about consumption profiles is needed which is directly linked with occupancy and user behaviour, both of which are difficult to assess. Finally, the creation of communities with an increased energy awareness will be beneficial to speed up decarbonisation but also to fight energy poverty as customers with limited purchasing power could have access to lower electricity costs and achieve savings in their energy bill. The optimal integration of PV as a distributed renewable energy source in the built environment in combination with storage systems must be achieved by means of optimisation as part of the design workflow: a strategy that is currently missing

successiva, potrebbe essere percepita come una complicazione non necessaria e non voluta. In futuro sistemi distribuiti quali il FV dovrebbero essere considerati tra i vincoli progettuali come già accade per altri sistemi architettonici come finestre o strutture portanti. Infine, i benefici della condivisione dell'energia/ autoconsumo collettivo devono essere condivisi tra i vari attori che contribuiscono con la generazione fotovoltaica, la capacità di accumulo, la flessibilità del carico, ecc. La progettazione e la valutazione tecnico-economica devono poi considerare anche l'eterogeneità della comunità energetica e i modelli di business suggeriti valutati in termini di equità (Casalicchio *et al.*, 2022) environmental, and social benefits. In this paper, an integrated method for the implementation of a linear bottom-up optimization model has been developed in order to address these aspects of an energy community: (i e come ogni membro della comunità può andare a migliorare il proprio bilancio energetico e la bolletta energetica esistenti.

Risanamento energetico di un edificio residenziale: verso la massimizzazione dello sfruttamento delle FER (fonti energetiche rinnovabili) in loco

Il risanamento energetico degli edifici residenziali dell'UE è un settore che ha un enorme potenziale per raggiungere gli obiettivi politici dell'UE relativi alle direttive EPBD (EnergyPerformance in Buildings directive, 2018/844/EU), buildings integrated RES (RES Directive EU 2018/2001) e renovation wave (Renovation wave for Europe, 2020).

Diversi progetti Europei hanno affrontato queste sfide, sviluppando nuove tecnologie, soluzioni, strumenti e metodologie

during the design phase. The major software tools used by the photovoltaic community are devoted mainly to simulation and do not run optimisation analyses on the capacity and best placement of PV and BESS systems on the available surfaces at building and district level in relation to the electricity demand. The use of optimisation techniques included in building simulation tools is not state of the art, although the optimisation technique would fit nicely into the architectural design workflow, especially for a BIPV system. In fact, if the main features of the BIPV system are known before the development of the design concept, they can contribute to its formation. If the PV system is instead added at a later stage, it could be perceived as an unnecessary complication. In the future, the PV + BESS system should be considered among the design con-

straints as already happens for other architectural systems, such as windows or bearing structures. Finally, the benefits of energy sharing/collective self-consumption must be shared between the various actors contributing with PV generation, BESS capacity, flexible loads, etc. The design and techno-economic assessment must then also consider the heterogeneity of the energy community and the suggested business models assessed in terms of fairness (Casalicchio *et al.*, 2022) environmental, and social benefits. In this paper, an integrated method for the implementation of a linear bottom-up optimization model has been developed in order to address these aspects of an energy community: (i and how each member of the community improves their existing energy balance and energy bill.

per rinnovare in modo efficiente il parco immobiliare dell'UE e massimizzare lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili (FER).

In particolare, un progetto Europeo H2020 denominato *EnergyMatching*¹ (H2020 EU Energy Matching, n.d.), coordinato da Eurac Research, affronta queste sfide sviluppando nuovi concetti e tecnologie per massimizzare la raccolta delle FER (Fonti Energetiche Rinnovabili) nell'ambiente costruito. Nell'ambito del progetto, vengono sviluppate e dimostrate soluzioni adattive ed economicamente efficienti per l'involucro degli edifici, ottimizzando l'interazione tra edificio e sistema energetico al fine di massimizzare la corrispondenza tra la produzione energetica decentralizzata basata su FER e i profili di carico degli edifici. Diverse tecnologie e metodologie sviluppate nel progetto sono state dimostrate in un caso di studio in Italia, nel risanamento energetico di un edificio residenziale di 12 appartamenti a Campi Bisenzio (FI).

L'utilizzo dell'approccio e delle tecnologie di *EnergyMatching* nel risanamento energetico dell'edificio hanno un grande impatto sulla trasformazione dell'edificio, raggiungendo: una riduzione del consumo di energia primaria del sistema di generazione di riscaldamento del 70%, una copertura annuale della domanda del consumo comune di energia elettrica del 78% e un autoconsumo di energia elettrica del 64%. Questi grandi impatti sono il risultato di un processo collaborativo che coinvolge 17 partner di progetto.

Processo di progettazione EnergyMatching

Il progetto di ristrutturazione finale è il risultato di uno sforzo multidisciplinare collaborativo, che ha incluso diverse intera-

zioni tra i partner del progetto attraverso un approccio "*push-pull*", con gli utenti finali (il cosiddetto LDWG, *local demo working group*) che sfidano gli sviluppatori tecnologici (partner di ricerca e sviluppo, fornitori di tecnologie, integratori di sistemi) e gli sviluppatori tecnologici che spingono gli utenti finali ad adottare le tecnologie innovative.

Tutte le scelte che hanno portato al progetto esecutivo sono state guidate da un'ampia campagna di simulazione che ha fornito una grande quantità di dati, discussi tra tutte le parti interessate nelle diverse fasi del progetto.

Blocco finestra solare

Il blocco finestra solare è un componente multifunzionale e autonomo dal punto di vista energetico, concepito e sviluppato per facilitare le operazioni di installazione in loco, aumentare l'efficienza energetica dell'involucro, il comfort termico e diurno interno, senza aggiungere alcun disturbo agli occupanti dell'edificio né aumentare le loro bollette energetiche. È composto da diversi componenti: un telaio isolante in XPS ed elementi di rinforzo in legno, una macchina di ventilazione con recupero di calore, un modulo "Click&Go" in vetro-vetro fotovoltaico con sistema di batterie e sistema ombreggiante integrato.

39 blocchi finestre solari sono installati nell'edificio demo e sono attualmente monitorati. Secondo le simulazioni energetiche, il blocco finestra coprirà il 100% dell'energia richiesta dalla macchina di ventilazione, essendo una soluzione completamente autonoma dal punto di vista energetico, che non richiede alcun collegamento alla rete elettrica e migliora il comfort interno in termini di qualità termica, diurna e dell'aria.



Pacchetto di riscaldamento e ventilazione rinnovabile

Il concetto energetico dell'edificio è stato drasticamente trasformato attraverso la ristrutturazione, passando da un sistema autonomo monoplano a una soluzione centralizzata che fornisce riscaldamento/raffrescamento degli ambienti e ACS (acqua calda sanitaria).

La principale fonte di generazione di energia del sistema è una pompa di calore aria-acqua che utilizza l'aria ambiente come fonte di calore/dissipatore. Durante l'inverno, l'aria ambiente viene preriscaldata da collettori solari termici traspiranti integrati nella facciata esposta a sud, in modo che la pompa di calore possa funzionare in condizioni più favorevoli e ridurre il consumo elettrico quando si lavora in modalità di riscaldamento.

Sistema BIPV Click&Go

L'integrazione fotovoltaica nell'involucro edilizio (*BIPV-building integrated photovoltaic*) è stata sviluppata intorno a tre concetti principali, menzionati nel capitolo 2: estetico, tecnologico/funzionale ed energetico.

L'aspetto estetico è stato affrontato grazie a diverse interazioni avvenute tra i produttori di moduli del consorzio ed il proprietario dell'edificio, concentrandosi su colore, dimensioni, design di finitura del sistema, telaio e sistema di sottostruttura invisibile. Il livello tecnologico/funzionale è stato sviluppato accoppiando i moduli fotovoltaici con il sistema di sottostruttura "click&GO" sviluppato, ottenendo un montaggio del modulo molto rapido e sicuro senza bulloni e utensili aggiuntivi. Il concetto energetico è stato perseguito attraverso un'ampia campagna di simulazione per massimizzare la corrispondenza energetica tra i consumi elettrici dell'edificio e la produzione.

Residential building renovation project: towards maximization of on-site RES harvesting

The renovation of EU residential buildings is a sector that has huge potential to meet the EU policy goals related to EPBD (Energy Performance in Buildings Directive, 2018/844/EU), buildings integrated RES (RES Directive EU 2018/2001) and renovation wave (Renovation wave for Europe, 2020). Several EU projects have tackled these challenges, developing new technologies, solutions, tools and methodologies to efficiently renovate EU building stock and maximise RES (renewable energy sources) exploitation.

In particular, a European H2020 project named EnergyMatching¹ (H2020 EU Energy Matching, n.d.) and coordinated by Eurac Research addresses these challenges by developing new concepts and technologies to maximise RES (Renewable Energy Sources)

harvesting in the built environment. Within the project, cost-effective adaptive building skin solutions are developed and demonstrated as part of an optimised building energy system, optimising the interaction between buildings and energy systems for the best match between decentralised RES-based energy production and building load profiles.

Several tools and technologies developed in the project have been demonstrated in a case study in Italy in the energy renovation of a residential building with 12 flats in Campi Bisenzio (FI). The EnergyMatching renovation approach and technologies had a big impact on the building transformation, leading to: a reduction of primary energy consumption of the heating energy generation system of 70%, an annual demand coverage of common electricity consumption of 78% and an electricity self-consumption of 64%.

L'impianto fotovoltaico è dimensionato e posizionato sull'involucro per coprire la maggior parte della domanda di energia elettrica quando è effettivamente necessaria all'edificio durante il giorno e nel corso dell'anno.

Conclusioni

In questo lavoro abbiamo presentato il fotovoltaico come l'opzione che può avere un impatto decisivo sulla decarbonizzazione nel contesto urbano. Gli ostacoli a un pieno sfruttamento della risorsa solare sono tuttavia grandi, e soprattutto, non di natura tecnologica, ma piuttosto, derivano da una legislazione miope all'assenza di codici, dall'errata informazione alla mancanza di conoscenza, dall'accettazione pubblica a manipolazioni di natura politica. L'integrazione del fotovoltaico nella progettazione architettonica offre opportunità per approcci innovativi all'architettura e all'ingegneria, soddisfacendo al contempo le esigenze edilizie attuali e future. In qualità di consulenti e motori dell'innovazione, architetti e progettisti hanno un ruolo decisivo da svolgere nel riconoscere i vantaggi e le potenzialità del fotovoltaico integrato nell'edilizia e nell'applicarli per soddisfare specifiche esigenze progettuali, provenienti dai committenti e/o dal quadro normativo. Questo aspetto, insieme a una progettazione architettonica e ingegneristica integrata, nonché a solide valutazioni economiche, è la chiave per la creazione di un mercato BIPV.

These great impacts are the results of a collaborative process involving 17 EU project partners.

EnergyMatching renovation design process

The final renovation design is the result of a collaborative multidisciplinary effort that included several interactions among the project partners through a "push-pull" approach, with final users (so-called LDWG-local demo working group) challenging the project technology developers (R&D partners, technology providers, system integrators) and technology developers, pushing the final user to adopt the innovative technologies.

All choices leading to the final design were guided by an extensive simulation campaign providing an amount of data discussed in different design steps among all project stakeholders.

Solar Window Block

The Solar window block is a multifunctional and energy-autonomous component conceived and developed to ease installation operations on site and increase the building envelope's energy efficiency, indoor thermal and daylight comfort without disturbing building occupants or raising their energy bills. It is made up of several components: an insulating frame made of XPS and timber reinforcing elements, a ventilation machine with heat recovery and a PV glass-glass "Click&Go" module with battery system and integrated controlled shading blinds.

39 window blocks are installed in the demo building and are currently monitored. According to the energy simulations, the window block will cover 100% of the energy required by the ventilation machine, being a fully energy-autonomous solution, not requiring any electrical grid connection as well as

NOTE

¹Questo progetto ha ricevuto finanziamenti dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione Europea nell'ambito della convenzione n. 768766. Le informazioni riflettono solo il punto di vista del progetto e la Commissione non è responsabile dell'uso che potrebbe essere fatto delle informazioni in esso contenute.

REFERENCES

Bizzarri, F., Moser, D. and Mazzer, M. (2020), *A Strategic Plan for Research and Innovation to Relaunch the Italian Photovoltaic Sector and Contribute to the Targets of the National Energy and Climate Plan* (version 1.0: 16 July 2020).

Casalicchio, V., Manzolini, G., Prina, M.G. and Moser, D. (2022), "From investment optimization to fair benefit distribution in renewable energy community modelling", *Appl. Energy*, Vol. 310, p. 118447.

Casalicchio, V., Manzolini, G., Prina, M. G. and Moser, D. (2022), "Optimal Allocation Method for a Fair Distribution of the Benefits in an Energy Community", *Solar RRL*, Vol. 6, n. 5, p. 2100473.

Communication from the commission (2016), *Clean Energy For All Europeans*, COM(2016) 860 final.

H2020 EU Energy Matching, available at: <https://www.energymatching.eu/> (accessed 13 April 2022).

Maturi, L. and Adami, J. (2018), *Building Integrated Photovoltaic (BIPV) in Trentino Alto Adige, Green Energy and Technology*, Springer International Publishing, Cham.

Ministry of Economic Development, Ministry of the Environment and Ministry of the Environment and Protection of Natural Resources and the Sea (2019), "Integrated National Energy and Climate Plan.

SolarPowerEurope", *Solar Buildings*, available at: <https://solarpowereurope.org/priorities/solar-buildings/> (accessed 13 April 2022).

improving indoor comfort in terms of heating, daylight and air quality.

Renewable harvesting package to heat and ventilate

The building energy concept has been drastically transformed through the renovation, going from an autonomous single flat system to a centralised solution which provides space heating/cooling and DHW (domestic hot water).

The main energy generation source of the system is an air-to-water heat pump that uses ambient air as a heat source/sink. During winter, the ambient air is preheated by transpired solar thermal collectors integrated in the south-facing façade so that the heat pump can work in more favourable conditions and reduce its electrical consumption when working in heating mode.

BIPV Click&Go System

The PV integration into the build-

ing envelope was developed on three main levels, previously mentioned in Chapter 2: aesthetic, technological/functional and energy level.

The aesthetic level is addressed thanks to several interactions which occurred between the consortium module manufacturers and the demo owner where they focussed on module colour, dimension, system finishing design, frame and invisible substructure system. The technological/functional level is addressed by coupling the PV modules with the developed "Click&GO" substructure system, enabling very quick and secure module mounting without additional bolts and tools. The energy level is pursued through an extensive simulation campaign to maximise the energy-matching between the building's electricity consumption and the production. The PV system is dimensioned and positioned on the envelope to cover most of the electricity demand when it is

The European Parliament and the Council of the European Union (2018), *RES Directive (EU) 2018/2001*.

Vartiainen, E., Masson, G., Breyer, C., Moser, D. and Medina, E.R. (2020), "Impact of weighted average cost of capital, capital expenditure, and other parameters on future utility-scale PV levelised cost of electricity", *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, Vol. 28, pp. 439-453.

actually needed by the building during the day and throughout the year.

Conclusions

In this paper we have presented PV as the option that can have a decisive impact on decarbonisation in the urban context. The barriers to the full exploitation of the solar resource are still large and mostly not of a technological nature, but rather stem from short-sighted legislation to the absence of norms, from wrong information to a lack of knowledge, from public acceptance to misleading political agendas. The integration of PV into architectural design presents opportunities for innovative approaches to architecture and engineering while meeting current and future building and district requirements. As consultants and drivers of innovation, architects and design engineers have a decisive role to play in recognising the advantages and

potential of building integrated photovoltaics and applying them to meet specific project requirements imposed by building owners and/or legislative framework. This aspect, together with an integrated architectural and engineering design, as well as sound economic evaluations, is the key for the creation of a BIPV market.

NOTES

¹ This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 768766. The information reflects only the project's view and the Commission is not responsible for any use that may be made of the information it contains.