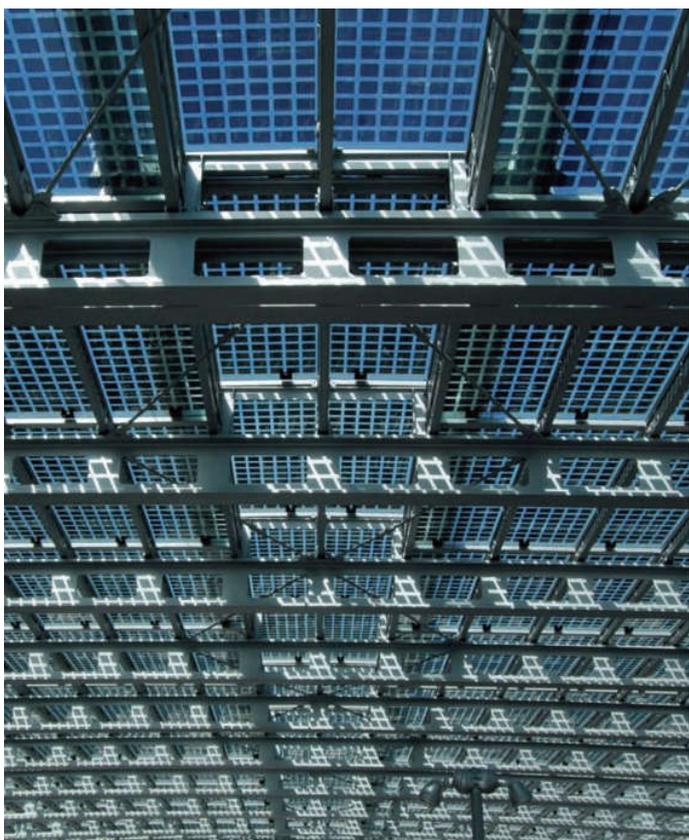




Montpellier International Business Incubator (MIBI). I pannelli solari, che funzionano da seconda pelle, sono distribuiti sulla facciata dell'edificio con distanze variabili tra di loro, creando un particolare effetto estetico. Sono stati installati 286 moduli per una potenza di picco di 43 kWp (Scheuten Solar).

I SISTEMI FOTOVOLTAICI INTEGRATI nell'involucro come produttori di energia: un BILANCIO PROGETTUALE tra libertà espressiva e tecnologia

ENRICO SERGIO MAZZUCHELLI



Nuova stazione porta Susa, Torino. La struttura è realizzata in acciaio e alluminio ed è ricoperta da lastre di vetro fotovoltaico strutturale. La copertura è realizzata con circa 10.500 m² di vetri fotovoltaici (770 KWp di potenza nominale) con trasparenza variabile che partendo dal centro va riducendosi verso i lati per dare una maggiore opacità dove c'è maggiore irraggiamento e per favorire la funzione fotovoltaica (EnergyGlass).

Solar Ivy è un sistema fotovoltaico per la generazione di energia elettrica che imita la forma delle foglie delle piante di edera.

Q MODULO PAROLE CHIAVE

BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS · DIRETTIVA 31/2010
UE · NZEB · FONTI RINNOVABILI



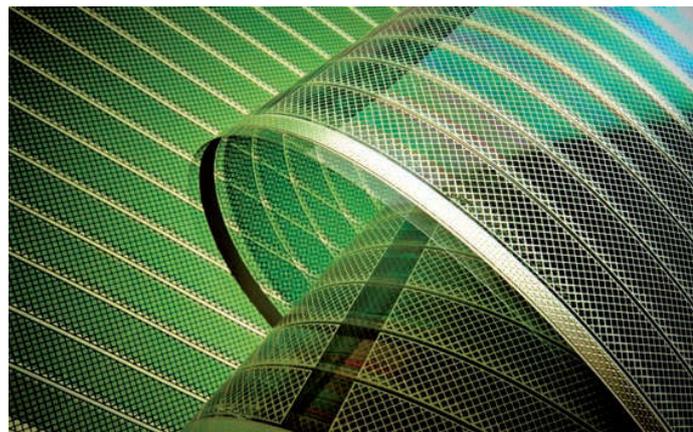
Facciata fotovoltaica torre "Altra sede Regione Lombardia". I vetri fotovoltaici per la facciata sono stati realizzati in vetro stratificato di sicurezza e inseriti all'interno di una vetrata isolante, garantendo funzionalità, efficienza energetica e risultato estetico. La tecnologia fotovoltaica utilizzata è quella delle celle SunPower in silicio monocristallino ad alta efficienza (EnergyGlass).

Vista dall'interno con serigrafia delle celle fotovoltaiche. L'impianto è costituito da 500 vetri fotovoltaici da 350 Wp ciascuno per un totale di 175 kWp e un'area coperta di 1500 m².

Gehry Building, Basilea. (arch. Gehry Partners, L.A.). Per la struttura del tetto complessivamente sono state impiegate 125.000 celle solari monocristalline trasparenti Sunways su una superficie di 1.300 m² con una potenza nominale complessiva di 92 kWp (Sunways AG).



Power Plastic è un materiale fotovoltaico organico semitrasparente e di basso peso che offre una ottima versatilità. La tecnologia Konarka è basata su materiali fotoreattivi brevettati costituiti da polimeri conduttivi e nanomateriali organici. Questi materiali possono essere stampati o depositati su un supporto plastico flessibile tramite un processo a basso consumo di energia (Konarka Technologies, Inc).



La Direttiva 31/2010 UE impone che entro il 31 dicembre 2020 gli stati dell'Unione Europea provvedano affinché tutti gli edifici di nuova costruzione siano a "energia quasi zero" (scadenza anticipata al 31 dicembre 2018 per gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici). Per "edificio a energia quasi zero" si intende un edificio ad altissima prestazione energetica in cui il fabbisogno energetico (molto basso o quasi nullo) dovrebbe essere coperto in misura significativa da energia prodotta da fonti rinnovabili, compresa quella prodotta in loco o nelle vicinanze dell'edificio. Per "energia da fonti rinnovabili" si intende invece l'energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas. L'edificio non è quindi più concepito solamente come un elemento passivo, bensì in grado di produrre direttamente energia per soddisfare le proprie richieste e divenire energeticamente autosufficiente.

Alla luce di quanto riportato, appare evidente come proprio nell'ambito dello sfruttamento delle risorse rinnovabili la domanda di energia elettrica derivante dall'impiego di generatori a pompa di calore, apparecchi ausiliari impiantistici, ventilatori, apparecchi di illuminazione, etc., può essere in parte o in toto coperta da sistemi fotovoltaici integrati nell'involucro degli edifici. In climi temperati e, soprattutto, mediterranei tali sistemi rappresentano un metodo efficace per ridurre la domanda elettrica estiva di punta dovuta alla presenza di impianti di climatizzazione che temporalmente corrisponde, in genere, al momento di maggior produzione elettrica dei sistemi fotovoltaici.

I sistemi BIPV (Building Integrated PhotoVoltaics) sono dispositivi fotovoltaici integrati (e non solamente "installati") nell'involucro degli edifici. L'involucro stesso diviene quindi una



Celle solari Sunways in silicio policristallino in colore bronzo e aureo (Sunways AG).

Celle solari Sunways in silicio policristallino in colore verde smeraldo (Sunways AG).

pelle in grado di sfruttare parte della radiazione solare incidente e di convertirla in elettricità che, inviata agli inverter (dispositivi in grado di convertire la corrente continua proveniente dal generatore fotovoltaico in corrente alternata con le stesse caratteristiche elettriche di quella proveniente dalla rete), viene immessa nella rete elettrica.

Integrare i BIPV nell'architettura di un edificio significa riuscire ad equilibrare gli aspetti tecnici ed estetici dei sistemi fotovoltaici con quelli dell'involucro senza compromettere in alcun modo le caratteristiche prestazionali e funzionali di entrambi, unendo la qualità estetica e architettonica degli edifici con la capacità dei sistemi fotovoltaici di produrre energia elettrica sul luogo della domanda. L'integrazione di tali sistemi deve quindi garantire i requisiti di performance energetica e acustica tipici dell'involucro edilizio inserendosi armoniosamente nel disegno architettonico e garantendo, accanto alla generazione di elettricità, tutte quelle prestazioni richieste all'elemento di involucro o finitura che esso va a sostituire: isolamento termico, isolamento acustico, estetica, schermatura, illuminazione naturale, protezione dagli agenti atmosferici, etc. E' evidente come ad oggi l'elevato costo dei moduli fotovoltaici può essere ammortizzato in tempi ridotti soltanto rendendoli parte integrante dei componenti di facciata e sostituendoli ai tradizionali materiali di rivestimento. Ulteriori vantaggi dei sistemi BIPV riguardano la riduzione delle perdite dovute alla distribuzione dell'energia elettrica (essa viene infatti utilizzata nello stesso luogo in cui viene prodotta), la contemporaneità tra produzione di energia elettrica e picchi di domanda dovuti all'impiego di macchine per la climatizzazione degli ambienti, che vengono generalmente registrati nelle ore diurne (quando, tra l'altro, l'energia elettrica consumata è più costosa). Come si dirà nel seguito, l'integrazione architettonica di sistemi fotovoltaici nell'involucro dell'edificio può ricondursi essenzialmente a due tipologie principali: integrazione in facciata (chiusura opaca, chiusura trasparente, sistemi di schermatura, elementi accessori) e integrazione in copertura (coperture piane o a falde, di piccole e grandi dimensioni). Altre soluzioni, che non rientrano nell'ambito dei sistemi BIPV, possono essere convenientemente utilizzate in elementi di arredo urbano quali pensiline, lampioni per illuminazione stradale, etc.



G-BOS

ANCORAGGI INIETTATI CON CALZA E MALTA PRESSTEC CON BARRE IN ACCIAIO INOSSIDABILE AD ALTA RESISTENZA CON FILETTATURA CONTINUA



TECNOLOGIE PER IL CONSOLIDAMENTO



1962 **50** 2012

sistemi di fissaggio
BOSSONG
www.bossong.com



BOSSONG S.p.A. Sistemi di Fissaggio e Consolidamento
Zona Industriale 2 - Via E. Fermi, 51 - 24050 GRASSOBBIO (Bergamo) Italy
Tel +39 035 3846 011 - Fax +39 035 3846 012 - info@bossong.com





Sistema di rivestimento di tipo a cassetta con moduli fotovoltaici in con tecnologia a film sottile, dimensioni standard 125 x 65 cm (Solteature GmbH)

Moduli in silicio cristallino o in **FILM SOTTILE**, fotovoltaico **ORGANICO** e fotovoltaico **IBRIDO** ancora in fase di ricerca e sviluppo. Blu, ma non solo. Funzionano anche se non esposti alla luce diretta. E sempre più **LOW COST**



Sistema di rivestimento a parete ventilata con moduli a film sottile in silicio amorfo (potenza di picco: 62 W/m²) – NRG Sunrise S.r.l. (distributore marchio Soliker in Italia).

Profilo Tegole fotovoltaiche Techtile-REM Energies (potenza per singolo elemento: 3,8 W_p) - REM



Il componente principale di un sistema BIPV è il modulo fotovoltaico. Esso è costituito da un insieme di celle solari interconnesse in modo da creare un dispositivo capace di generare una corrente elettrica se sottoposto all'irraggiamento solare. Le tipologie di celle solari impiegati nei sistemi BIPV sono molteplici. Ma quelli in film sottile che utilizzano come semiconduttore fotovoltaico sali inorganici depositati come film sottile su un substrato che può essere di varia natura (plastica, vetro, acciaio, ceramica, etc.) si stanno diffondendo molto rapidamente grazie al costo ridotto rispetto a quelli in silicio cristallino, alla vasta gamma di possibilità di integrazione architettonica (il substrato può infatti

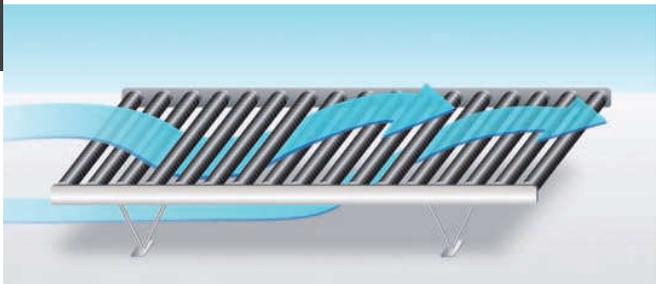
essere costituito da più materiali, rigidi o flessibili) e dell'eccellente produzione energetica in condizioni di bassa irradiazione solare in quanto possono essere facilmente inseriti diodi di by-pass per ogni cella (tramite questi particolari dispositivi una cella può essere esclusa in caso di ombreggiamento evitando di compromettere il funzionamento di una parte o dell'intero modulo). Nei pannelli in silicio cristallino sono presenti mediamente un diodo di by-pass per stringa, per un totale di due o tre diodi per pannello, nei moduli a film sottile possono esserne facilmente inseriti da 10 a 20; da ciò deriva la minore sensibilità all'ombreggiamento di questa tipologia di moduli). Inoltre nei moduli a film sottile si riduce

drasticamente la quantità di materiale fotovoltaico e di energia utilizzate nella produzione delle celle solari. Le prestazioni dei film sottili non diminuiscono di molto all'aumentare della temperatura, dallo scostamento della superficie attiva dall'angolo di tilt ed in caso di ombreggiamento parziale o cielo nuvoloso. Le tecnologie cristalline hanno invece una maggiore efficienza e sensibilità alla radiazione diretta, che comporta una occupazione d'area ridotta a parità di potenza installata, una riduzione dei costi degli accessori di connessione e, essendo spesso le superfici in gioco minori, una più rapida installazione dell'impianto. Ad oggi la predominanza commerciale delle celle solari al silicio cristallino ha avuto come conseguenza la rapida adozione di queste ultime come tecnologia di base della maggior parte delle applicazioni BIPV; tra queste la maggiore percentuale di installazioni di moduli in silicio monocristallino rispetto a quella dei moduli in silicio policristallino (meno costoso) è legata soprattutto a valutazioni di tipo estetico.

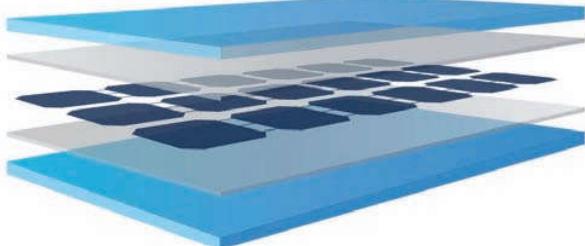
Per quanto concerne l'estetica di questi sistemi, si ricorda che il colore blu delle celle mono e policristalline è dovuto al rivestimento antiriflettente comunemente usato (generalmente ossido di titanio), ma la scelta dei possibili colori utilizzabili è assai più ampia. La riduzione della resa legata al colore delle celle può variare dal 15% al 25% rispetto alla versione standard. Nelle celle a film sottile il colore dipende essenzialmente dal tipo di processo utilizzato, dal materiale depositato, dagli eventuali substrati e dai film di protezione superficiale. Occorre infine ricordare che per valutare la resa dei singoli elementi non è sufficiente confrontare i valori di potenza di picco nelle condizioni standard di funzionamento (irradiazione 1000 W/m² e temperatura della cella di 25°C), che

sono estremamente distanti dalle condizioni reali di lavoro: la temperatura dei moduli solari supera ampiamente i 25 °C durante le ore di funzionamento, mentre la radiazione solare media sulla superficie terrestre è di circa 170 W/m². Una ulteriore tecnologia in rapido sviluppo e che potrebbe avere un impatto considerevole in un prossimo futuro sul mercato BIPV è quella del fotovoltaico organico (in questo caso la sostanza attiva che assorbe la luce è costituita da molecole basate sui composti del carbonio) e ibrido. La tecnologia delle celle solari organiche è molto vasta e si trova tuttora in diverse fasi di ricerca, sperimentazione e sviluppo. Tra le tipologie di celle si segnalano le celle organiche (la cui parte attiva è totalmente organica o polimerica), ibride organico/inorganico e ibride biologico, oltre alle "Dye sensitized Solar Cells" (DSC, la cui parte fotoelettricamente attiva è costituita da un pigmento, da ossido di titanio e da un elettrolita). La tecnologia ibrida delle celle solari a colorante non richiede l'esposizione diretta alla luce solare per un funzionamento ottimale. Le celle solari DSC mostrano una notevole stabilità all'output energetico giornaliero in tutte le condizioni meteo, possono essere depositate su substrati rigidi (in vetro o acciaio) o flessibili (polimero), sono disponibili in un'ampia gamma di colori ed hanno costi ridotti. Il grande vantaggio dei materiali fotovoltaici organici o ibridi risiede nel fatto che possono essere depositati su ampie superfici a costi ridotti, in soluzione liquida come veri e propri inchiostri o paste. E' quindi possibile usare per la loro produzione i metodi tipici dell'industria della stampa, riducendo così gli alti costi di materiale e di processo ad alto consumo energetico ed economico tipici dell'industria per la produzione dei moduli a silicio cristallino.

Il design dei pannelli Solyndra consente il passaggio del vento - Solyndra



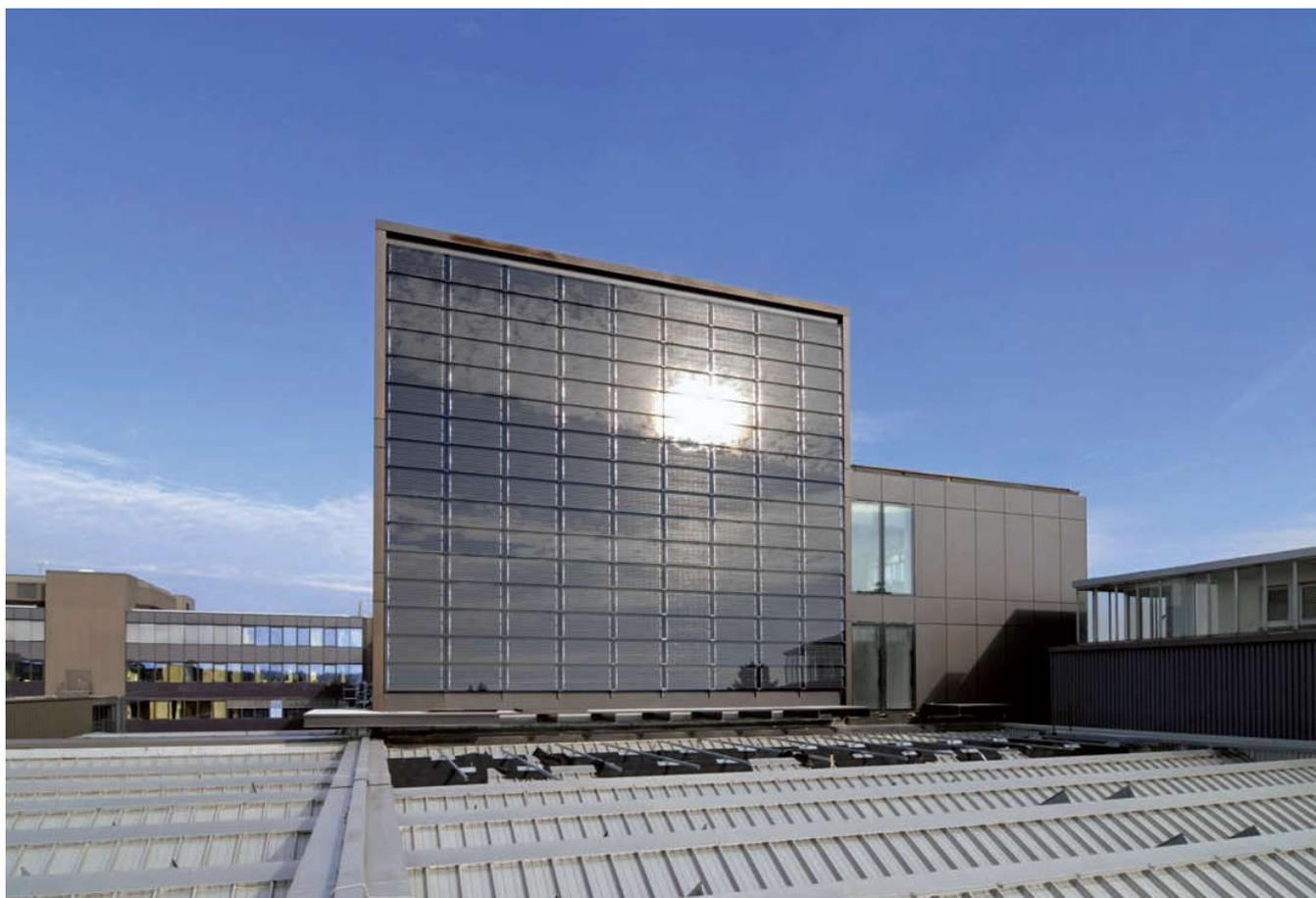
Composizione di un vetro fotovoltaico. I vetri fotovoltaici strutturali di EnergyGlass sono realizzati in vetro temprato e stratificato di sicurezza, interponendo cioè tra due vetri temprati e due fogli di PVB le celle fotovoltaiche o il film sottile (EnergyGlass)



- Vetro
- PVB
- Celle fotovoltaiche
- PVB
- Vetro

Composizione del vetro fotovoltaico

Dalla scelta dell'**INTEGRAZIONE** dipende il **RENDIMENTO ENERGETICO**, massimo nei tetti a falda, diminuisce in facciata. Fondamentale il valore dell'**ANGOLO DI TILT**, l'inclinazione dei moduli rispetto alla superficie terrestre



Facciata con integrazione di moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, potenza installata 17,8 kWp (Solarwatt AG).

Il rendimento energetico di un sistema fotovoltaico dipende dalla localizzazione geografica, dall'esposizione dei moduli e dalla tecnologia adottata. Per il territorio italiano, i sistemi fotovoltaici hanno rese ottimali (100% rispetto al massimo ottenibile) se integrati in tetti a falda orientati verso sud e con inclinazione (angolo di tilt, cioè l'inclinazione del piano dei moduli rispetto al piano tangente la superficie terrestre) pari ad un valore inferiore di una decina di gradi alla latitudine del sito, hanno un rendimento del 90% se installati orizzontalmente in copertura mentre, se montati verticalmente in facciata, la resa può scendere fino al 70% per elementi rivolti a sud e al 50% per elementi rivolti ad est o a ovest. In pratica per differenti angoli di tilt varia il rendimento energetico del sistema nel corso dell'anno, per differenti esposizioni varia la modalità con la quale la radiazione solare viene intercettata e trasformata durante l'arco della giornata.



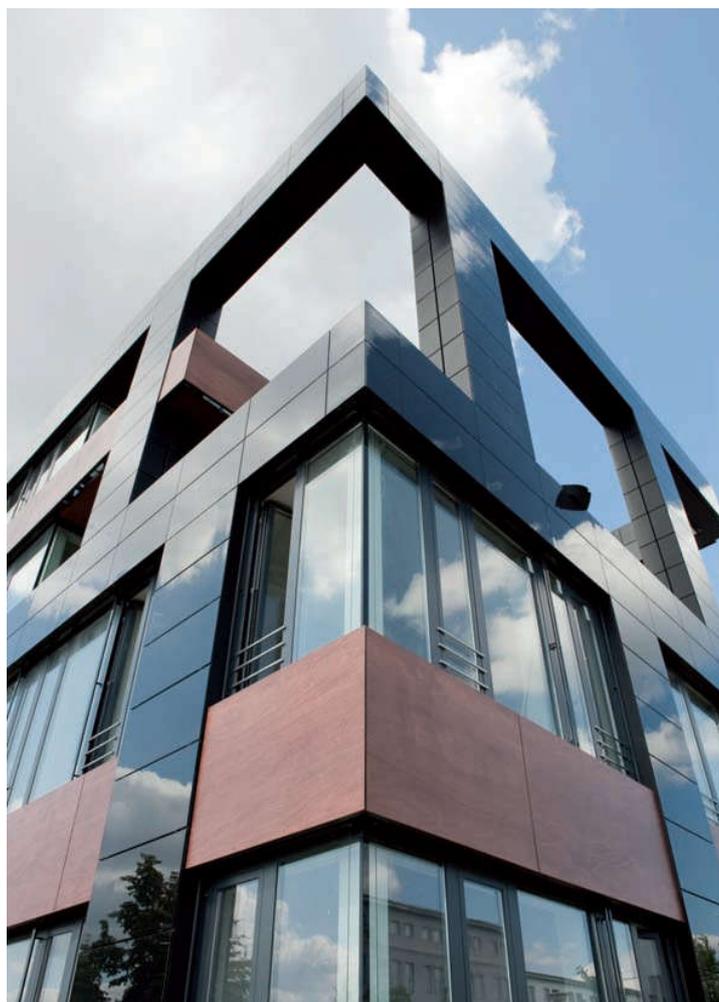
Titania Tower, Madrid - 2011. Sulla facciata sono stati integrati 378 frangisole fotovoltaici che contribuiscono all'aumento dell'efficienza energetica e a rafforzare l'immagine di modernità e innovazione dell'edificio. Le celle solari monocristalline, che si trovano all'interno dei pannelli vetro-vetro, producono una potenza massima di 60 kWp, facendo risparmiare, allo stesso tempo, l'energia necessaria per il raffrescamento riducendo i carichi termici interni dovuti alla radiazione solare diretta (Scheuten Solar).



Sistema di rivestimento a parete ventilata, progetto Genyo, Farmaceutica Pfizer Building Cancro Research, Granada. Moduli in film sottile in silicio amorfo (potenza di picco: 75 W/m^2 , potenza installata $15,825 \text{ kWp}$) – NRG Sunrise S.r.l. (distributore marchio Soliker in Italia).

Soltecture Solartechnik GmbH, Berlin, 2009. Integrazione di moduli fotovoltaici con tecnologia a film sottile in facciata con rivestimento tipo cassetta, potenza installata 20 kWp (Soltecture GmbH).

Oggi sono disponibili sul mercato un'ampia varietà di soluzioni per BIPV che ben si adattano all'integrazione in facciata, tanto da costituire una valida alternativa, sia economica che estetica, ai tradizionali materiali di rivestimento. In particolare nei sistemi a facciata microventilata l'intercapedine retrostante il rivestimento di facciata consente un agevole cablaggio dei moduli ed evita allo stesso tempo un eccessivo innalzamento della temperatura dei moduli stessi (tramite una ventilazione passiva sul retro del modulo). Come in precedenza anticipato, l'incremento della temperatura delle celle porta infatti ad una sensibile riduzione dell'efficienza, oltre che a una diminuzione della tensione e della potenza erogata. Per moduli al silicio mono o policristallino l'incremento di temperatura riduce la potenza erogata con un coefficiente di circa $-0,5\%/^{\circ}\text{C}$. I moduli a film sottile invece sono meno influenzati dall'aumento di temperatura e la potenza erogata si riduce in modo minore all'aumentare della stessa (da $-0,1\%/^{\circ}\text{C}$ a $-0,2\%/^{\circ}\text{C}$). Occorre considerare che l'effetto dell'incremento di temperatura, oltre a diminuire l'efficienza di conversione delle celle, può produrre effetti negativi anche relativamente al comfort negli ambienti interni, essendo i moduli strettamente integrati nell'involucro degli edifici. In taluni casi è possibile recuperare parte del calore prodotto dai moduli (che andrebbe altrimenti disperso), ad esempio integrando una serpentina percorsa da acqua che, scaldandosi, può essere utilizzata, ad esempio, per la produzione di acqua calda sanitaria o per riscaldare gli ambienti nella stagione invernale. Numerose sono le possibilità e le applicazioni in cui moduli con tecnologia in silicio cristallino ed amorfo trovano integrazione in sistemi di rivestimento di questo tipo, dove il modulo attivo va a sostituire un elemento di rivestimento opaco, assumendone in tutto la funzione.





Esempio di frangisole fotovoltaici integrati in facciata. La potenza dei singoli elementi varia da 40 a 40 Wp. L'edificio, un "Centro Medico" in Cordoba (Spagna) è stato progettato e sviluppato da FCC Citizen Services e Inabensa ed è in grado di produrre 42.000 KWh/anno di energia elettrica (Yohkon Energia S.A).

Gli elementi di rivestimento ed i moduli fotovoltaici sono posti in opera tramite un'apposita sottostruttura, generalmente di tipo metallico, come avviene per le tradizionali facciate ventilate. E' opportuno che i moduli siano facilmente smontabili per poter effettuare le eventuali operazioni di sostituzione o manutenzione dei dispositivi elettrici posti sul retro degli stessi (scatole di giunzione, etc.).

Per quanto concerne le chiusure verticali trasparenti, i sistemi fotovoltaici vengono inseriti all'interno di particolari tipologie di vetro. Nei vetri fotovoltaici strutturali con celle mono o poli cristalline, le celle fotovoltaiche vengono stratificate fra due lastre di vetro e due fogli di PVB (polivinilbutirrale, che può essere anche di vari colori). La possibilità di definire in fase di progettazione la distanza tra le celle permette di definire il grado di trasparenza dei moduli. La potenza erogata può variare in relazione alla densità di celle per metro quadro (i valori sono generalmente compresi tra 50 e 150 W/m², l'aumento di potenza è accompagnato da una riduzione della trasparenza del modulo).

I vetri fotovoltaici strutturali possono essere inseriti in una vetrata isolante per favorire l'isolamento termico e possono essere stratificati con appositi fogli in PVB per incrementare l'isolamento acustico. L'obiettivo delle facciate fotovoltaiche che utilizzano questi sistemi è quello di massimizzare la produzione elettrica compatibilmente con le esigenze di trasparenza e di illuminazione degli ambienti interni. Particolari effetti di trasparenza possono inoltre essere ottenuti tramite l'impiego di celle che, grazie ad una particolare foratura, sono in grado di offrire un filtraggio omogeneo della luce. L'abbinamento di fotovoltaico con serigrafie (che possono anche nascondere i collegamenti tra le diverse stringhe di celle) consente di ottenere inoltre una molteplicità di configurazioni, lasciando al progettista la più ampia libertà compositiva. Nel caso di chiusure trasparenti fotovoltaiche assume fondamentale rilevanza l'integrazione dei cablaggi dei moduli, che devono essere preferibilmente alloggiati all'interno dei profili metallici di supporto della soluzione di facciata. I vetri sono normalmente dotati di connettori laterali anziché di scatola di giunzione posteriore. Qualora non fosse possibile posizionare dei connettori laterali si dovrebbero impiegare scatole di giunzione remote posizionate nei montanti, nei traversi o in altre zone nascoste e non direttamente visibili della facciata. Anche per la realizzazione di vetrate fotovoltaiche è possibile utilizzare la tecnologia a film sottile, depositando un sottile strato di silicio amorfo (di spessore inferiore al micron) ed ottenendo così vetrate semitrasparenti; sfruttando la tecnologia laser per strutturare il film di silicio amorfo si ottengono moltissime celle solari collegate tra loro da elementi di conduzione trasparenti.

Analogamente a quanto illustrato per le facciate, i vetri fotovoltaici possono trovare largo impiego anche

Applicato tramite sottostrutture come per le **FACCIATE ventilate**. Oppure inserito all'interno dei **VETRI**. Nelle **COPERTURE TRASPARENTI**. Nei **FRANGISOLE**. O nei **PARAPETTI**. Anche con l'**ETFE**. Con qualche accorgimento e una corretta progettazione, ovunque nell'edificio

come elementi attivi in coperture di tipo trasparente o in sistemi frangisole, fissi o mobili.

I frangisole sono strutture collegate alle superfici verticali di edifici atte a produrre ombreggiamento e schermatura di superfici trasparenti sottostanti durante la stagione estiva. Un frangisole fotovoltaico deve schermare nelle stagioni più calde la radiazione solare diretta, captando allo stesso tempo la massima quantità di energia solare disponibile per la produzione di energia elettrica, evitando al contempo effetti di "shelf-shading" dovuti alla sua stessa geometria. L'inserimento nel prospetto dell'edificio deve risultare armonioso ed il design deve essere studiato in modo tale da consentire il semplice alloggiamento dei cablaggi elettrici, così come già indicato per le facciate vetrate.

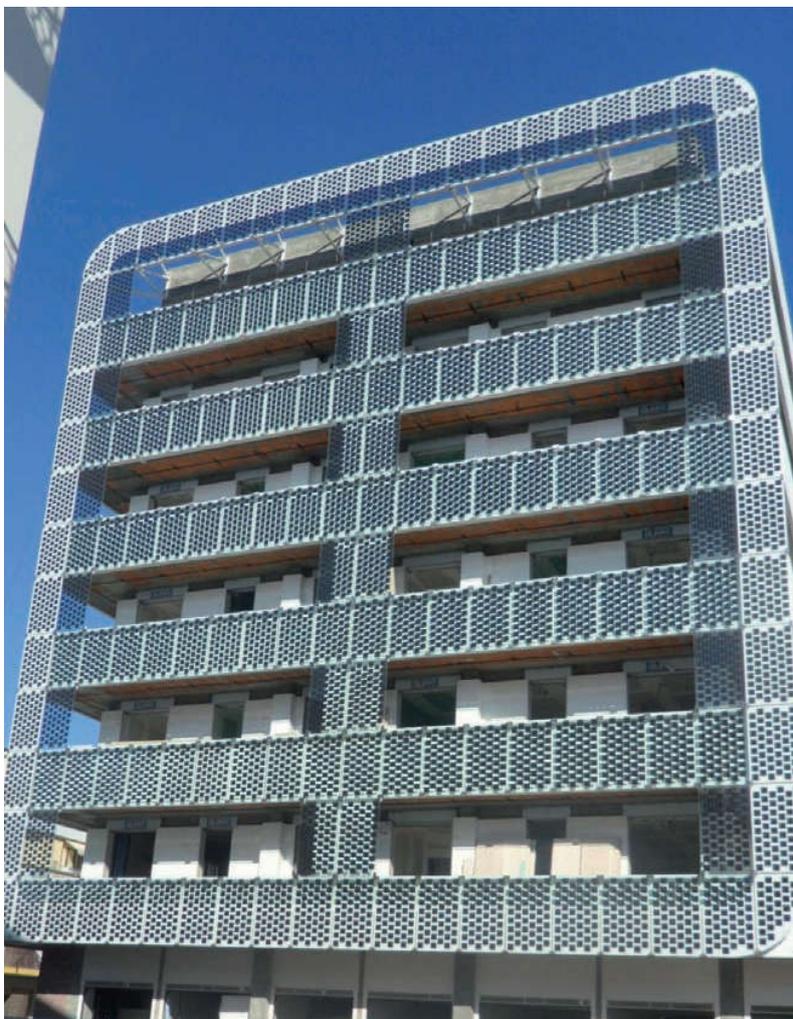
All'occorrenza i moduli fotovoltaici possono essere installati anche su elementi quali parapetti e balaustre; in tal caso dovranno essere in grado di garantire tutte le caratteristiche di sicurezza necessarie per questa particolare tipologia di applicazione.

Per quanto concerne l'installazione di sistemi fotovoltaici integrati in copertura, è evidente come vi sia una notevole differenza tra le soluzioni utilizzabili per coperture, piane o inclinate, di piccole dimensioni in ambito residenziale e quelle utilizzabili per coperture di grande superficie in ambito industriale o terziario. Nel primo caso sono ormai consolidate soluzioni che prevedono l'impiego di tradizionali moduli o di "tegole fotovoltaiche" (le tegole vengono elettricamente collegate tra di loro in parallelo, ma ciascuna è in grado di funzionare autonomamente rispetto a quelle vicine tramite dei diodi di by-pass) in sostituzione di tradizionali elementi in laterizio, mentre di più recente applicazione è l'integrazione di elementi in film sottile su doghe di copertura in metallo. In ogni caso è fondamentale definire già in fase di progetto quali e quanto estese dovranno essere le superfici da destinarsi ai sistemi solari attivi, fotovoltaici e non, definendo una geometria di copertura idonea per l'installazione di tali elementi ed evitando, nello stesso tempo, la possibile interferenza con altri elementi impiantistici e/o architettonici che potrebbe limitare o ridurre le superfici effettivamente utili all'installazione (presenza di abbaini, velux, camini, esalatori, cappe di aspirazione, antenne impianto TV, volumi tecnici di vani ascensore, etc.). In caso di installazione di moduli integrati nel piano di falda è necessario anche valutarne il comportamento in caso di precipitazioni di tipo nevoso. Elementi fermaneve sono da una parte indispensabili per evitare la pericolosa caduta a terra di accumuli di neve ma, allo stesso tempo, impedendo alla neve di scivolare, possono mantenere parte dei moduli in condizioni di funzionamento non ottimale per un periodo di tempo più lungo del previsto. La progettazione e l'integrazione di sistemi fotovoltaici in coperture di grandi dimensioni deve considerare una molteplicità di fattori. Oltre alla accurata valutazione del contesto in cui viene inserito un edificio (ostruzioni ed ombre portate), a seconda della tecnologia fotovoltaica individuata sarà necessario considerare l'inclinazione rispetto all'orizzontale dei moduli e gli effetti dell'azione del vento sugli stessi, l'aspetto strutturale derivante dal peso dell'installazione di moduli, sottostrutture di supporto ed eventuali zavorre, l'influenza di precipitazioni nevose che, in particolari contesti climatici, può compromettere il funzionamento ottimale dei moduli anche per lunghi periodi, l'orientamento e la distanza per evitare l'ombreggiamento reciproco tra file adiacenti di moduli, l'effetto dello sporcamento della superficie che può ridurre in modo significativo l'efficienza dei pannelli, la necessità di garantire in ogni caso la manutenibilità del manto di tenuta della copertura, le interferenze con eventuali macchinari ed impianti posizionati in copertura, etc.

Tralasciando la ormai diffusa pratica di posa di moduli su substrati rigidi in silicio cristallino o amorfo semplicemente appoggiati (e zavorrati) su coperture piane (che deve preservare in ogni caso la tenuta e garantire la manutenibilità del sottostante manto impermeabile), è evidente come il peso ridotto e la facile e rapida integrazione consentano di sfruttare in modo ottimale le celle solari a film sottile. Queste ultime possono ad esempio essere integrate in un'ampia varietà di elementi per coperture di tipo metallico o addirittura direttamente incorporate in manti impermeabili di tipo polimerico.

I cavi che collegano i singoli moduli fotovoltaici sono generalmente protetti con una striscia di manto impermeabile e rimangono esteticamente integrati nella copertura piana. Rispetto ai sistemi tradizionali a moduli non è necessario installare ulteriori strutture metalliche di supporto dei moduli stessi in copertura. La tecnologia fotovoltaica del film sottile in silicio amorfo offre quindi una valida ed economica alternativa ai moduli solari tradizionali garantendo allo stesso tempo prestazioni ottimali in molte delle condizioni reali di irradiazione in esterno.

Più in dettaglio, nella cella a tripla giunzione vengono stratificate tre celle con diverso "bandgap", che



Oversea Building Chioggia: complesso residenziale eco innovativo ed eco funzionale firmato dall'Architetto Simone Micheli ed edificato da Ghirardon Group. La potenza totale dell'impianto in moduli in silicio monocristallino è di circa 19 kW (EnergyGlass).



Sistema Prefalz Solar: celle solari "Triple Junction" in silicio amorfo collegate in serie, laminato in Polimero ETFE. Casa privata a Treviso e scuola pubblica a Coredò (TN) (Prefa Italia).

assorbono cioè radiazione a diverse lunghezze d'onda: la prima assorbe la frazione blu della radiazione solare, la seconda la frazione verde, la terza le radiazioni rossa e infrarossa; la rimanente parte viene riflessa da uno strato di Al/ZnO. I moduli ottenuti sono molto stabili (la perdita in potenza nel tempo è inferiore all'1% annuale) e hanno efficienza fotovoltaica intorno al 6-7% in condizioni standard di funzionamento.

Un'ulteriore e recente tecnologia per la produzione di moduli in silicio amorfo a film sottile fa uso di un processo di deposizione al plasma della cella solare direttamente su un substrato polimerico flessibile. La cella ottenuta è del tipo a giunzione singola o doppia ma consente di ottenere una notevole riduzione del costo di produzione (a scapito però dell'efficienza) rispetto ad una cella a tripla giunzione. Il processo produttivo prevede in questo caso la deposizione di un elettrodo metallico su un substrato di materiale polimerico a basso costo, la deposizione da plasma degli strati di silicio e la realizzazione dell'eterogiunzione necessaria all'effetto fotovoltaico, ed infine il ricoprimento con uno strato conduttivo trasparente in ossido di indio e stagno che funge anche da elettrodo. Le celle vengono connesse in serie per formare un modulo solare e il modulo viene poi incapsulato in un laminato plastico ad elevata resistenza fisica e chimica per proteggerlo e garantire la durata richiesta. Il modulo solare può essere eventualmente laminato direttamente su un componente da costruzione, ad esempio una membrana impermeabile o una doga in metallo.

Le celle in silicio amorfo (a tripla, doppia o singola giunzione) sono in grado di assorbire una percentuale maggiore di energia incidente a livelli di irradiazione più bassi e in condizioni di luce diffusa (40-100 W/m²), fino ad arrivare al 40% in più delle celle in silicio cristallino (si ricorda che alla latitudine media europea l'irradiazione totale è formata da più del 50% di luce diffusa, cioè per il 50% del tempo il cielo è nuvoloso).

Inoltre mentre il coefficiente termico per le celle fotovoltaiche cristalline è una costante negativa pari a $-0,5\%/^{\circ}\text{C}$, il coefficiente termico di queste celle è pari a $-0,1\%/^{\circ}\text{C}$. L'effetto di queste caratteristiche è rappresentato da un più alto livello di potenza fornita a temperatura di lavoro della cella molto comuni nella realtà. L'uso di diodi di bypass molto stretti consente una tolleranza maggiore della prestazione dell'impianto in presenza di scarsa luminosità ed ombreggiatura. Non da ultimo, tali materiali sono altamente resistenti, assicurando la pedonabilità durante le operazioni di installazione e manutenzione della copertura.

Le caratteristiche dei film sottili fotovoltaici (spessore ridotto, peso, flessibilità) rendono tali prodotti ideali anche per l'integrazione all'interno di film trasparenti in ETFE (etilene tetrafluoroetilene), utilizzabili in particolari applicazioni architettoniche. In questo caso la funzione del film fotovoltaico diventa duplice, in quanto elemento in grado di produrre energia elettrica e allo stesso tempo di garantire una schermatura degli ambienti interni.

Le applicazioni più innovative: sartoriale, nei TESSUTI ARTIFICIALI delle tende da sole e biomorfo, l'EDERA FOTOVOLTAICA

Numerose sono le applicazioni di sistemi fotovoltaici ancora in via di sviluppo. Tra le più interessanti rientrano i tessuti fotovoltaici, che possono essere realizzati integrando celle solari organiche nella struttura di fibre tessili artificiali. Questi sistemi sono leggeri, flessibili e semitrasparenti, e possono alimentare impianti di illuminazione, piccoli elettrodomestici o apparecchiature elettroniche. I tessuti solari possono essere costituiti anche da moduli di silicio amorfo a doppia giunzione racchiusi in film flessibili. Tali elementi possono trovare applicazione nella realizzazione di tende da esterni, pergolati, pensiline, teloni, etc. (la potenza erogata in condizioni standard può arrivare a circa 60 W/m²).

Un altro sistema BIPV, denominato "Solar Ivy", è costituito da foglie in polietilene funzionalizzate con film sottili fotovoltaici. Il prodotto è nato come tentativo di abbinare la tecnologia fotovoltaica con la decorazione di pareti, come avviene con una specie di "edera" fotovoltaica. I film sottili utilizzabili possono essere di tipo organico (completamente riciclabile e non contenente materiali tossici), silicio amorfo (con durata superiore rispetto a quelli di tipo organico) e in diselenuro di rame e gallio (CIGS, tra i più efficienti sul mercato). L'installazione delle foglie avviene su un'apposita rete in acciaio e ciascuna foglia (delle dimensioni di cm 25 x 25 circa) può produrre da 0,5 Wp (fotovoltaico organico) a 0,6p W (film sottile in silicio amorfo), fino ad un massimo di 4 Wp per le foglie con film sottile in CIGS.

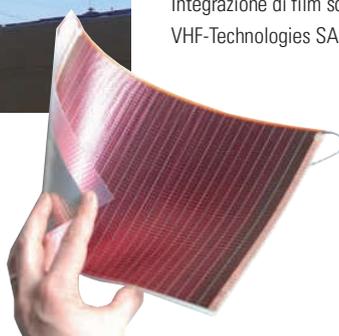
La produzione di elettricità può avvenire sia attraverso i piccoli moduli fotovoltaici a film sottile sia sotto forma di eolico mediante un dispositivo piezoelettrico: le piccole foglie solari sono in grado di fluttuare sotto l'azione del vento e il loro movimento meccanico viene trasformato, grazie a un piezogeneratore flessibile collocato nel loro gambo, in elettricità. Il risultato è un involucro che può essere integrato a seconda delle esigenze (è possibile variare la densità delle foglie in base alle richieste), fino ad arrivare a ricoprire tutta una facciata di un edificio.



Solar Ivy è un sistema fotovoltaico per la generazione di energia elettrica che imita la forma delle foglie delle piante di edera (Solar Ivy).

Tende da sole avvolgibili fotovoltaiche: i teli sono costituiti da moduli di silicio amorfo a doppia giunzione racchiuso in un film flessibile (potenza di 1 kWp con telo di 528x350 cm) (Aurora)

Integrazione di film sottile in film in EFTE - VHF-Technologies SA (Flexcell).





Copertura piana con manto impermeabile a base di poliolefine flessibili (TPO) tipo PowerMembrane di Solar Integrated presso il centro commerciale Los Arcos a Siviglia, in Spagna (Solar Integrated Technologies GmbH)

Copertura piana con manto impermeabile in TPO integrato con laminato fotovoltaico. Ogni membrana è costituita da due film fotovoltaici di 50 cm di larghezza connessi in serie. L'installazione di questa particolare tipologia di manto sulla copertura è essenzialmente la stessa di un manto di tipo tradizionale, con l'eccezione dei collegamenti tra i singoli elementi - VHF-Technologies SA (Flexcell)



Il **PENSIERO PROGETTUALE** a monte dell'uso del **FOTOVOLTAICO INTEGRATO** è fondamentale: rendimento energetico, studio dell'ombreggiamento, picchi di temperatura, sicurezza, manutenibilità, pulizia sono solo alcuni parametri da considerare

La complessità degli impianti fotovoltaici deve essere relazionata alle innumerevoli problematiche derivanti dal loro inserimento nell'involucro, quali il mantenimento e il miglioramento della tenuta agli agenti atmosferici, la permeabilità alla luce, etc. Inoltre non si può prescindere dalle problematiche legate alla manutenzione e alla pulizia periodica di moduli e componenti degli impianti fotovoltaici, operazioni necessarie per mantenere correttamente in esercizio e in piena efficienza l'intero sistema. Se da un lato infatti i sistemi BIPV devono rispondere alle esigenze di sicurezza, versatilità e sostituibilità dei singoli elementi, dall'altro, e soprattutto in edifici di grandi dimensioni, è indispensabile prevedere sin dalle fasi di progettazione sistemi permanenti integrati per la pulizia di facciate e/o coperture in grado di consentire lo svolgimento di tali operazioni in tempi rapidi e nella più completa sicurezza.

I sistemi BIPV, oltre ad offrire oggi un'ampia possibilità di integrazione e libertà compositiva e architettonica, rientrano a pieno titolo tra quelli in grado di produrre energia da fonti rinnovabili. Se da un lato in passato la superficie richiesta per l'installazione di sistemi attivi necessaria per coprire i consumi degli edifici era particolarmente elevata, oggi l'efficace sinergia tra un involucro sempre più efficiente e performante, l'aumento di rendimenti e regolazioni degli impianti (così come la gestione e la supervisione degli stessi tramite sistemi di controllo), hanno portato ad una notevole riduzione dei consumi degli edifici e delle potenze di picco degli impianti. Ciò si riflette positivamente in una riduzione delle superfici necessarie per l'installazione di sistemi a guadagno solare, termico o fotovoltaico, etc. per la copertura dei fabbisogni energetici, rendendo così realizzabile il raggiungimento dell'obiettivo Zero Energy a costi contenuti per tutte le categorie di edifici di nuova costruzione. In prospettiva la riduzione dei consumi e l'integrazione di sistemi attivi nell'involucro dovrà portare ad edifici non solo ad energia "quasi zero", bensì in grado di pro-