

MARIO PAGLIARO   GIOVANNI PALMISANO   ROSARIA CIRIMINNA

# **BIPV**

**IL FOTOVOLTAICO INTEGRATO NELL'EDIZILIA**



### SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- filodiretto con gli autori
- le risposte degli autori a quesiti precedenti
- files di aggiornamento al testo e/o al programma allegato
- possibilità di inserire il proprio commento al libro.

L'indirizzo per accedere ai servizi è: [www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF8814](http://www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF8814)

## INDICE

---

<i>Presentazione</i> .....	pag. IX
<i>Introduzione</i> .....	» XI

CAPITOLO 1 – BIPV: FOTOVOLTAICO ED EDILIZIA SI INCONTRANO .....	» 1
1.1. BIPV: nuovo elemento di design in edilizia .....	» 1
1.2. Tecnologie BIPV: prodotti diversi per applicazioni diverse.....	» 8
1.3. Esempi di architetture BIPV .....	» 15
1.3.1. Tetti .....	» 15
1.3.2. Finestre e facciate semitrasparenti.....	» 17
1.3.3. Facciate .....	» 20
1.3.4. Lucernari e sistemi di ombreggiamento .....	» 20
1.4. Aeroporti fotovoltaici .....	» 23
1.5. Le sfide del BIPV .....	» 27

## CAPITOLO 2 – TECNOLOGIA E ARCHITETTURA DEL BIPV

2.1. Tecnologie per il BIPV .....	» 33
2.2. Architettura e BIPV.....	» 42
2.3. Integrazione architettonica riconosciuta .....	» 45
2.3.1. Moduli fotovoltaici sostitutivi di materiali di rivestimento ....	» 46
2.3.2. Moduli fotovoltaici integrati in pensiline, pergole e tettoie ....	» 49
2.3.3. Moduli fotovoltaici in sostituzione di superfici trasparenti degli edifici .....	» 51
2.3.4. Moduli fotovoltaici integrati in barriere acustiche .....	» 53
2.3.5. Moduli fotovoltaici integrati in elementi di illuminazione e strutture pubblicitarie .....	» 53
2.3.6. Moduli fotovoltaici integrati ai frangisole.....	» 54
2.3.7. Moduli fotovoltaici integrati in balaustre e parapetti .....	» 55
2.3.8. Moduli fotovoltaici integrati nelle finestre .....	» 56
2.3.9. Moduli fotovoltaici integrati nelle persiane .....	» 56

## 2.3.10. Moduli fotovoltaici installati come rivestimento o copertura .. » 57

## CAPITOLO 3 – LA CASA FOTOVOLTAICA

3.1. La casa fotovoltaica con il BIPV .....	»	59
3.2. Tetti storici BIPV .....	»	63
3.3. Integrazione solare a tutto tetto.....	»	65
3.4. Soft house .....	»	68
3.5. Grow: edera solare .....	»	69
3.6. BIPV e solare termico: tecnologia BIPV/w .....	»	71
3.7. Per un uso intelligente dell'elettricità .....	»	75

## CAPITOLO 4 – SOLAR ROOF

4.1. Solar roof in silicio amorfo a tripla giunzione .....	»	79
4.2. Il Solar roof in silicio amorfo a giunzione singola.....	»	89
4.3. Il sistema ISI Fit.....	»	94
4.4. Il tetto BIPV in elettrotegola.....	»	96

## CAPITOLO 5 – BIPV E AGRICOLTURA

5.1. Il fotovoltaico in agricoltura .....	»	99
5.2. Applicazioni del nuovo fotovoltaico in agricoltura .....	»	104
5.3. Serre fotovoltaiche .....	»	107
5.4. Autotrazione agricola fotovoltaica .....	»	113

## CAPITOLO 6 – SOLAR DESIGN

6.1. Quality management del solar design.....	»	117
6.2. Verso l'edilizia personalizzata .....	»	123
6.3. Metodologia del solar design .....	»	126

## CAPITOLO 7 – ECONOMIA E PROSPETTIVE DEL BIPV

7.1. BIPV: prezzi e trend di mercato .....	»	133
7.2. Trend tecnologico del BIPV .....	»	137
7.3. Il BIPV in Italia.....	»	143

---

7.4. Il Conto energia per imprese, comuni e famiglie .....	» 146
7.5. Il fotovoltaico fra finanza islamica e crisi finanziaria .....	» 150
Bibliografia, sitografia, riferimenti immagini e fotografie .....	» 157

## PRESENTAZIONE

È necessario che imprenditori, manager delle aziende edili, progettisti, esperti di *facility management* e dirigenti delle pubbliche amministrazioni adibite all'edilizia – residenziale e commerciale – conoscano le nuove tecnologie BIPV, tanto gli aspetti tecnici, quanto quelli estetici e finanziari.

Ecco il perché di questo testo: non si tratta di un libro di architettura<sup>1</sup> né di una raccolta di casi di studio<sup>2</sup>, piuttosto si tratta di una guida strategica – aggiornata e scritta in stile accattivante – da impiegare in un settore industriale che, nel corso degli ultimi anni, ha assunto una sempre maggiore rilevanza economica e sociale e che attualmente vanta una rapidissima espansione.

Il testo si compone di sette capitoli nel corso dei quali si toccano tutti i punti salienti che interessano questa tecnologia: in particolare, ci si soffermerà sui vantaggi che comportano l'adozione della cosiddetta *casa fotovoltaica*, del *solar roof* e del *solar design*, servendosi di uno stile conciso e di numerose illustrazioni; il testo, infatti, si distingue per un deciso taglio pratico e per le molteplici informazioni di carattere industriale e commerciale.

Ecco dunque, le 10 tipologie di integrazione riconosciute necessarie per accedere alle tariffe massime del *Conto energia*, che interessa allo stesso modo imprese, comuni e famiglie; le facciate e gli aeroporti fotovoltaici; il *trend* tecnologico e quello di mercato; le soluzioni per gli edifici storici e quelle per l'agricoltura; il fotovoltaico per l'edilizia personalizzata e l'energia solare nel contesto della crisi finanziaria globale.

Il fine primario del libro è quello di fornire al lettore una visione sintetica delle tecnologie BIPV e delle loro applicazioni, una guida che – si auspica – possa servire per adottare le migliori soluzioni adatte alle proprie esigenze<sup>3</sup>.

*Gli autori*

<sup>1</sup> Ceccherini Nelli L., *Fotovoltaico in architettura*, Hoepli, Milano, 2006.

<sup>2</sup> Mottura G., Del Corno B., *L'integrazione architettonica dei pannelli solari e fotovoltaici. 26 progetti su CD pronti all'uso*, Maggioli Editore, 2008.

<sup>3</sup> Per le attività formative che fanno da complemento al libro il lettore è invitato a consultare il nostro sito [www.qualitas1998.net](http://www.qualitas1998.net).

## INTRODUZIONE

Tra il febbraio 2007 e la fine del 2008 si contano ben 300 MW di potenza fotovoltaica (PV) installata realizzati a partire quasi da zero: vale a dire che si sono impiegati 20 mesi per installare un terzo della potenza di una tipica centrale elettrica nucleare. Nonostante, infatti, ci si continui a lamentare della lentezza dell'installazione del contatore per l'immissione in rete della corrente dell'impianto PV e dei permessi che tardano ad arrivare, l'Italia è rapidamente divenuto il paese col più alto tasso di crescita del mercato fotovoltaico al mondo: da 6364 impianti in esercizio al 9 gennaio 2008 ai 34mila del successivo 1 aprile 2009 con una media di 1800 nuovi impianti in servizio ogni mese, e 435 MW di potenza installata in Conto energia.

Il Ministero del Tesoro, tramite la società controllata GSE (gestore dei servizi elettrici), paga puntualmente, ogni due mesi, tutta l'energia prodotta dall'impianto con un bonifico bancario diretto al proprietario dell'impianto, anticipato da un'e-mail per comunicare il suddetto pagamento: ciò ha dato il via, dal Veneto alla Sicilia, ai lavori per la costruzione delle prime fabbriche italiane di moduli fotovoltaici.

\*\*\*\*

In questo contesto di sviluppo impetuoso, il settore dei sistemi fotovoltaici ad alta integrazione architettonica (BIPV, *Building Integrated PhotoVoltaics*) rappresenta il segmento con il più alto tasso di crescita. L'integrazione architettonica dell'impianto PV beneficia, infatti, di tariffe incentivanti che sono quasi del 30% superiori a quelle – già altissime – delle tecnologie fotovoltaiche non integrate. Lo stesso avviene in tutti gli stati dell'Unione Europea che riconoscono incentivi in Conto Energia (fra gli altri, Germania, Spagna, Francia, Grecia e Austria).

Contemporaneamente, nel corso del 2008, la crisi finanziaria globale dovuta all'emissione e alla cartolarizzazione di mutui *subprime* erogati senza criteri prudenziali a soggetti che mai li avrebbero restituiti, ha portato in stato di *default* finanziario le più grandi banche del mondo, imponendone il salvatag-

gio pubblico da parte dei governi. Questo, fra l'altro, ha causato la fine del cosiddetto *credito facile* anche in Italia e un repentino crollo dei corsi immobiliari e, dunque, del mercato dell'edilizia.

Eppure, la parte più evoluta dell'industria italiana delle costruzioni è da tempo alla ricerca di materiali e di soluzioni abitative ad alto risparmio energetico, nell'ambito di una sua propria evoluzione verso quella *edilizia personalizzata*, costruita intorno alle esigenze individuali dei clienti, che consenta a famiglie e imprese la possibilità di accedere ad edifici di alta qualità a prezzi accessibili, come è già avvenuto per le industrie dell'abbigliamento o delle auto.

Per questa industria, che è parte cruciale dell'economia italiana, i dispositivi BIPV rivestono un ruolo strategico per la ridefinizione dell'offerta al mercato e quindi per il proprio successo nel mercato ipercompetitivo e globale in cui operano.

La definizione BIPV si riferisce al fatto che i dispositivi fotovoltaici sono integrati – e non installati – nell'involucro esterno degli edifici: ciò significa che tetti, facciate, lucernari e finestre – invece di riscaldarsi entropicamente al sole della calda estate italiana o a quello del mite inverno italiano – adesso sono in grado di catturare la radiazione solare e convertirla in elettricità, che, inviata agli *inverter*, viene immessa direttamente nella rete elettrica.

Il nuovo sistema fotovoltaico diventa, dunque, parte integrante della costruzione per offrire – accanto alla generazione della preziosa elettricità – tutti i suoi numerosi servizi: isolamento termico ed acustico, valorizzazione estetica e protezione fisica, ombreggiamento e illuminazione naturale.

Si tratta di una tecnologia multifunzionale che può essere adottata in modo ottimale in fase di costruzione oppure, a riprova della sua versatilità, direttamente sul costruito.

Una tecnologia in cui il maggior costo del modulo BIPV – derivante dall'integrazione delle celle solari nei più svariati substrati – è largamente compensato da tutti i servizi che un modulo BIPV, utilizzato come vero e proprio elemento di costruzione, è capace di erogare.

Aeroporti interamente fotovoltaici, palazzi, ville, stazioni, negozi, uffici, ospedali, carceri, caserme, centri di ricerca, case popolari e persino teatri ed edifici storici: da consumatori di elettricità fossile, gli edifici diventano produttori di energia, diventando anche più belli, più accoglienti, più confortevoli e soprattutto più efficienti.

In breve, le soluzioni BIPV – e non le improbabili case *passive* sviluppate 30 anni fa per le brume tedesche – sono quello che occorre per rendere concreta



questa evoluzione, necessaria ed ampiamente matura anche dal punto di vista economico, ambientale e sociopolitico.

\*\*\*\*

Molte aziende italiane ne hanno già compreso l'importanza e improvvisamente hanno iniziato a generare una domanda di prodotti BIPV. E così, nel dicembre 2008, ancora prive di manager italiani, alla prima conferenza italiana di rilievo sull'integrazione architettonica del fotovoltaico<sup>1</sup>, le aziende tedesche, spagnole, austriache, cinesi e americane che ad oggi dominano il mercato BIPV europeo si sono ritrovate costrette ad inviare relatori direttamente dalle case madri.

Nel mercato globale, l'industria fotovoltaica ha raggiunto nel solo 2008 i 37,1 miliardi di euro di fatturato, con un tasso di crescita medio che negli ultimi dieci anni è stato del 35%<sup>2</sup>. Il BIPV vi ha contribuito con 150 milioni circa e un ritmo di crescita del 33% e davanti a sé ha ulteriori e straordinarie prospettive di crescita.

Grazie ai sussidi diretti e agli incentivi fiscali di Germania, Giappone e Spagna prima e degli USA, Italia e Francia oggi, i prezzi dei sistemi PV sono in rapida discesa, mentre l'offerta si moltiplica rapidamente. Accanto al silicio cristallino, infatti, si diffonde l'impiego di tecnologie PV meno costose che utilizzano film sottili di materiale foto attivo: sia sotto forma di materiali inorganici come il CIS, il CIGS e il CdTe, sia di tipo organico – e cioè in plastica, con i relativi e formidabili vantaggi in termini di versatilità e flessibilità.

<sup>1</sup> [www.energy-forum.it](http://www.energy-forum.it).

<sup>2</sup> [www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com) (Marketbuzz 2009).

# Capitolo 1

## BIPV: FOTOVOLTAICO ED EDILIZIA SI INCONTRANO

### 1.1. BIPV: NUOVO ELEMENTO DI DESIGN IN EDILIZIA

Le tecnologie fotovoltaiche moderne trasformano gli edifici da utilizzatori a produttori dell'energia di qualità più elevata: l'elettricità. Dal vecchio concetto di installazione fotovoltaica, la tecnologia edile e quella fotovoltaica si fondono per dar vita a sistemi fotovoltaici integrati negli edifici (in inglese *building integrated photovoltaics*, BIPV), ovvero *l'integrazione* architettonica, strutturale ed estetica della funzionalità fotovoltaica negli edifici di ogni giorno: case, scuole, ospedali, uffici e industrie<sup>1</sup>.

Un impianto fotovoltaico si dice *integrato* quando i moduli hanno la stessa funzionalità della superficie, cioè costituiscono essi stessi la superficie esposta al sole. Secondo questo nuovo approccio, i moduli fotovoltaici divengono autentici elementi isostrutturali alla costruzione, utilizzati per costruire gli esterni degli edifici, come i tetti, le facciate, le finestre e i lucernari, fornendo – oltre alla generazione di elettricità – diversi servizi, come la protezione climatica e la valorizzazione estetica.

La figura 1.1, ad esempio, mostra la Stillwell Avenue Station di New York, la cui struttura in vetro e acciaio impiega ben 2800 moduli fotovoltaici (PV) a film sottile in vetro semitrasparente della Schott per ricoprire i 7100 m<sup>2</sup> del tetto e fornire oltre 210 kWp (kilowatt di picco) di potenza elettrica. I moduli in questione, oltre a produrre 250.000 kWh di energia elettrica ogni anno, forniscono il giusto equilibrio fra le esigenze di illuminazione naturale, protezione climatica degli interni e generazione elettrica.

Da corpo estraneo aggiunto all'edificio, quindi, l'impianto fotovoltaico diventa elegante elemento dell'involucro, che nella calda estate newyorkese produce energia elettrica per il raffrescamento e allo stesso tempo ombreggia riducendo gli apporti di calore.

<sup>1</sup> Prasad D., Snow M. (Editors), *Designing with solar power: a source book for building integrated photovoltaics (BIPV)*, Earthscan Publications, London, 2005.

Ciò che va detto fin da subito è che la tecnologia BIPV è, infatti, una tecnologia multifunzionale utilizzata per svariati fini, tra cui:

- l'isolamento termico;
- la protezione climatica;
- l'isolamento acustico;
- la modulazione della luce naturale;
- il miglioramento della resistenza strutturale;
- la generazione di elettricità (PV).

Tutto ciò è stato reso possibile dal rapido progresso occorso nell'ultimo decennio nel campo della scienza e della tecnologia PV: la relativa industria si è, infatti, evoluta dalla produzione di pesanti e ineleganti pannelli solari rigidi in silicio cristallino prodotti con tecnologie convenzionali alla manifattura di una molteplicità di nuovi moduli solari – rigidi o flessibili, opachi o semitrasparenti, scuri o colorati – che nell'insieme forniscono ai progettisti un nuovo elemento estremamente versatile e senza precedenti con cui espan-



Figura 1.1  
Il lucernario BIPV da 250 kW,  
Stillwell Avenue Station di New York:  
è uno dei maggiori impianti BIPV  
in America

dere l'architettura tradizionale e trasformare gli edifici in costruzioni che generano energia e la consumano con intelligenza<sup>2</sup>.

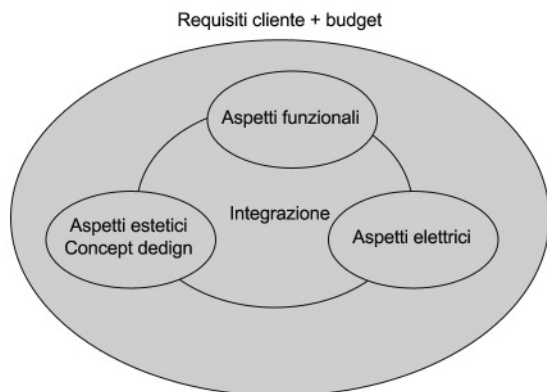


Figura 1.2  
Il BIPV: schema dell'integrazione  
del fotovoltaico in edilizia

In questo senso, va enfatizzato fin da subito che affinché l'integrazione del PV si realizzi con successo nell'industria dell'edilizia, è necessaria la simbiosi di aspetti funzionali, estetici e finanziari (figura 1.2)<sup>3</sup>. Infatti, solo quando questo approccio simbiotico sarà realizzato compiutamente e il costo dei moduli PV si abbasserà, l'enorme potenziale del BIPV potrà realizzarsi rapidamente. Basti pensare che anche solo ad un'efficienza fotovoltaica relativamente bassa (5%) i 23 miliardi di m<sup>2</sup> di tetti e facciate adatti all'integrazione fotovoltaica in 14 paesi sviluppati eccede i 1000 GWp (tabella 1.1), ovvero la potenza di mille centrali nucleari.

Inoltre, andrebbe sempre tenuta presente la semplice distribuzione mondiale dei consumi energetici (figura 1.3), da cui si possono trarre le seguenti stime:

- edifici: 50%;
- industria: 25%;
- trasporti: 25%.

Considerando, quindi, il fatto che le facciate degli edifici hanno la maggiore influenza nel consumo energetico, appare ovvio che l'integrazione del fotovoltaico nelle facciate avrà un enorme impatto su questi consumi.

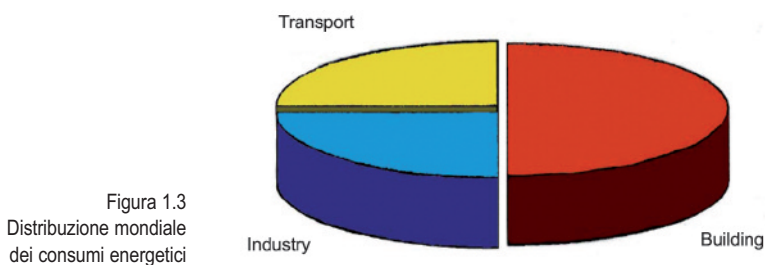
Già nel 2005 veniva sottolineato come i problemi del cosiddetto *solar design* consistessero principalmente nel "vasto gap informativo fra i risultati della

<sup>2</sup> Cameron A., *PV's progress: growth and potential in the BIPV industry*, in *Renewable Energy World*, 1 March 2007.

<sup>3</sup> Hagemann I.B., *New perspectives for BIPV with dye solar cells (DSC)*, 2nd DSC Industrialization Conference, St Gallen, 11-13 September 2007.

Tabella 1.1. Area potenziale BIPV (tetto e facciata, in km<sup>2</sup>) per diversi paesi e riferita a differenti tipologie di edificio (fonte: Report IEA – PVPS T7-4:2002)<sup>4</sup>

Area potenziale BIPV (km <sup>2</sup> )		Costruzioni residenziali	Costruzioni agricole	Costruzioni industriali	Costruzioni commerciali	Altre costruzioni	Totale costruzioni
Australia	Tetto	373,50	22,50	6,00	16,5	3,75	422,25
	Facciata	140,06	2,81	2,25	8,25	1,41	158,34
Austria	Tetto	85,65	17,13	15,19	17,45	4,20	139,62
	Facciata	32,12	2,14	5,70	8,73	1,58	52,36
Canada	Tetto	727,20	36,36	60,60	133,32	6,06	963,54
	Facciata	272,70	4,55	22,73	66,66	2,72	361,33
Danimarca	Tetto	50,88	14,84	10,60	10,60	1,06	87,98
	Facciata	19,08	1,86	3,98	5,30	0,40	32,99
Finlandia	Tetto	78,28	21,01	19,16	8,45	0,41	127,31
	Facciata	19,08	1,86	3,98	5,30	0,40	32,99
Germania	Tetto	721,78	164,04	229,66	164,04	16,40	1295,92
	Facciata	270,67	20,51	86,12	82,02	6,15	485,97
Giappone	Tetto	753,88	40,48	75,89	91,07	5,06	966,38
	Facciata	282,71	5,06	28,46	45,54	1,90	362,39
Italia	Tetto	410,26	113,96	136,75	91,17	11,40	763,53
	Facciata	153,85	14,25	51,28	45,58	4,27	286,32
Olanda	Tetto	127,48	42,70	52,75	35,80	0,63	259,36
	Facciata	47,81	5,34	19,78	17,90	0,24	97,26
Regno Unito	Tetto	601,88	71,09	61,61	168,24	11,85	914,67
	Facciata	225,70	8,89	23,10	84,12	4,44	343,00
Spagna	Tetto	251,97	78,74	55,12	55,12	7,87	448,82
	Facciata	94,49	9,84	10,67	27,56	2,95	168,31
Stati Uniti	Tetto	6791,83	322,91	602,76	2260,36	118,40	10096,26
	Facciata	2546,94	40,36	226,04	1130,18	44,40	3786,10
Svezia	Tetto	134,52	36,11	32,92	14,51	0,71	218,77
	Facciata	50,45	4,51	12,35	7,26	0,27	82,04
Svizzera	Tetto	67,12	21,90	21,05	12,80	15,36	138,22
	Facciata	25,17	2,74	7,89	6,40	5,76	51,83



ricerca e la conoscenza applicata nella pratica”<sup>5</sup>. Inoltre, veniva lamentata una generale incapacità nel promuovere il prodotto, condizione indispensabile in qualsiasi mercato per il diffondersi di una nuova tecnologia.

<sup>4</sup> Gutschner M. et al., *Potential for building integrated photovoltaics*, Technical Report IEA - PVPS T7-4:2002. International Energy Agency, 2002, [www.iaea-pvps.org/products/rep7\\_04.htm](http://www.iaea-pvps.org/products/rep7_04.htm)

<sup>5</sup> Hagemann I.B., *Solar design in architecture and urban planning*, JSPS Symposium Urban Planning – Sustainable Cities, Tokyo: 12 September 2005.