

INTEGRAZIONE DEL FOTOVOLTAICO IN EDILIZIA: ASPETTI TECNOLOGICI

Cristina Cornaro

Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa, CHOSE, Università degli Studi di Roma Tor Vergata Via del Politecnico, 1, 00133 Roma,
cornaro@uniroma2.it

Ultima ora

Il settore del fotovoltaico integrato (BIPV) è stato e continua ad essere, anche all'interno del **V conto energia**, la tipologia di impianti con il maggiore premio previsto; inoltre gli impianti integrati hanno accesso diretto alle tariffe fino al raggiungimento di una spesa cumulativa annua di 50 milioni di euro.

Tariffa omnicomprensiva (incentivo + prezzo di vendita) espressa in euro/kWh

Intervallo di potenza (in kW _p)	I° SEM.	II° SEM.	III SEM.	IV SEM.	V SEM.
1 < P < 20	0,288	0,242	0,218	0,196	0,176
20 < P < 200	0,276	0,231	0,208	0,187	0,169
P > 200	0,255	0,217	0,195	0,176	0,158

Le tariffe del Quinto Conto Energia per gli impianti FV innovativi integrati che entrano in funzione nei vari semestri di applicazione del C.E.



Ultima ora

.....Buone notizie dal mondo:

“Despite the difficult market environment for the solar industry as a whole, the opportunity for building integrated photovoltaics (BIPV) looks extremely promising. Until recently, aesthetic and performance concerns limited the ability of architects to use BIPV technology in their building designs, but this is changing as energy-efficient, flexible, and transparent solar materials become available. According to a new report from Pike Research, a part of Navigant’s Energy Practice, the worldwide market for BIPV and building applied photovoltaic (BAPV) will quadruple over the next five years, growing from **\$606 million in 2012 to more than \$2.4 billion in 2017.**”

Fonte: Comunicato stampa Pike Research, www.pikeresearch.com, 21/08/2012



Ultima ora

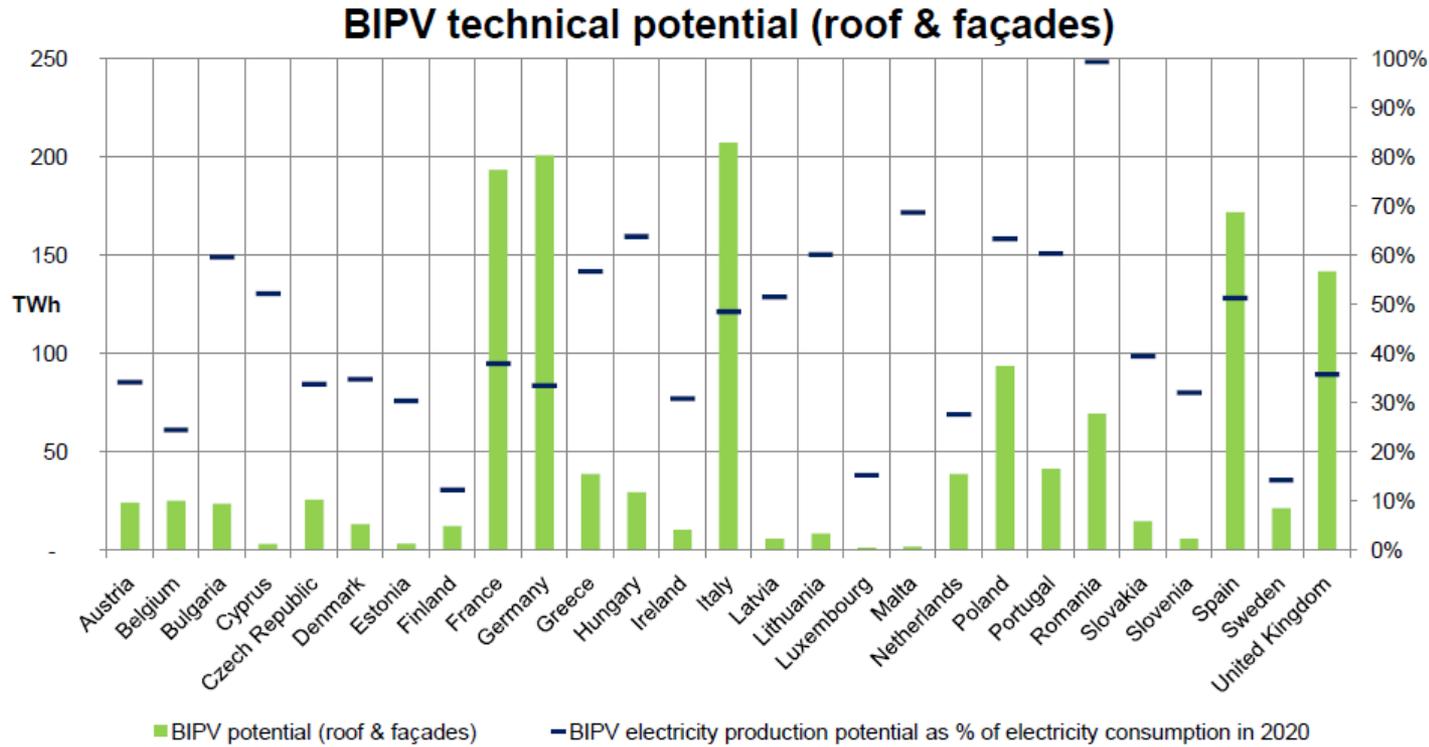
.....Buone notizie dal mondo:

“The emerging BIPV market, which straddles the building industry and the solar power industry, offers a new way to develop revenue streams for both parties,” says research director Kerry-Ann Adamson. “Solar suppliers have begun to partner with building and construction companies, as well as designers and architects, and have gained access to completely new markets. At the same time, building companies have started to recognize new opportunities in green buildings and in retrofitting existing homes and commercial facilities.”

Fonte: Comunicato stampa Pike Research, www.pikeresearch.com, 21/08/2012



Scenario



Source: IEA PVPS Task 7 – Potential for Building integrated photovoltaic, EPIA analysis

Fonte: final forum progetto EU Sunrise, 2010, www.sunrise.eu



Definizioni utili

Efficienza

$$\eta_{STC} = \frac{P_{nom}}{A \cdot G_{STC}} \quad \eta = \frac{P_{max}}{A \cdot G_{poa}}$$

Resa

$$Y = \frac{E}{P_{nom}} \quad [\text{kWh} / \text{kW}]$$

Performance Ratio (PR)

$$PR = \frac{Y}{Y_r} \quad \text{with} \quad Y_r = \frac{I}{G_{STC}} \quad PR = \frac{\square}{\square_{STC}}$$



Integrazione architettonica

L'elemento fotovoltaico sostituisce elementi edilizi tradizionali e garantisce, oltre la produzione di energia elettrica, le seguenti funzioni tipiche di un involucro edilizio:

- tenuta all'acqua e la conseguente impermeabilizzazione della struttura edilizia;
- tenuta meccanica comparabile con quella dell'elemento edilizio sostituito;
- resistenza termica tale da non compromettere le prestazioni dell'involucro edilizio.

Guida alle applicazioni innovative finalizzate all'integrazione architettonica del fotovoltaico, GSE, Agosto 2012



Integrazione architettonica

Le possibilità di integrazione del fotovoltaico sono molteplici:

- facciate
- coperture
- sistemi ombreggianti
- lucernari (semi-trasparenti)
- schermature anti pioggia



Integrazione architettonica

Le tecnologie che in vario modo possono essere integrate

- monocristallino
- policristallino
- thin film (a-Si, CIS, CdTe)
- organico (DSC, polimerico)



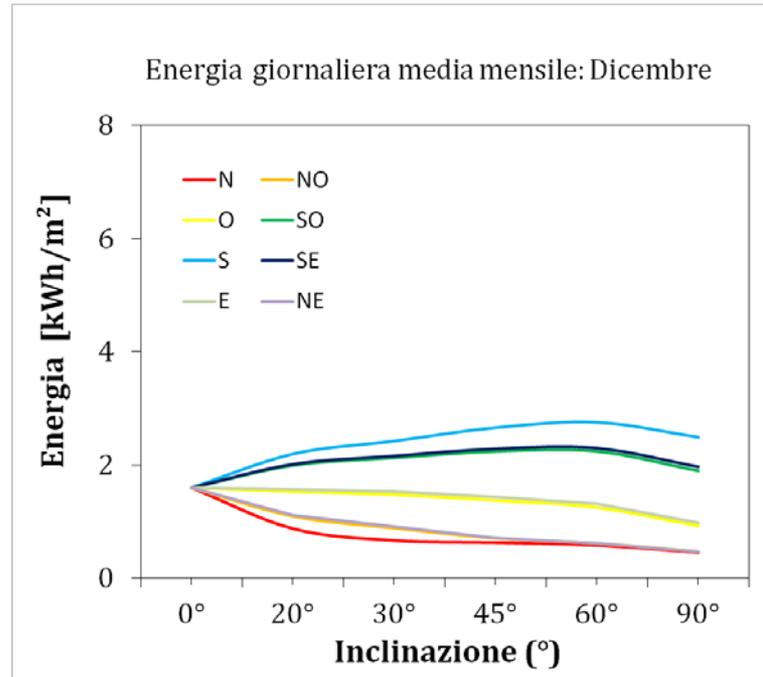
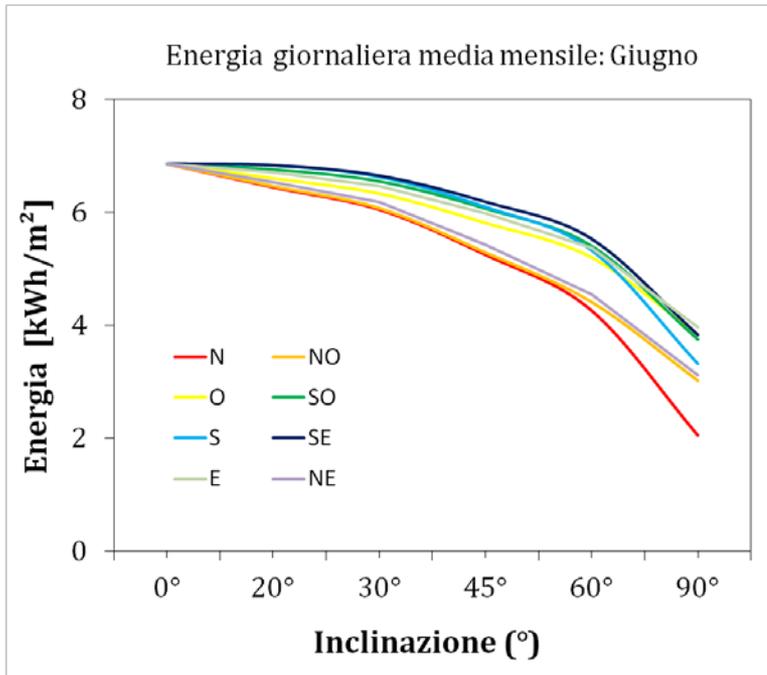
Integrazione architettonica

Al fine di ottimizzare la produzione dell'elemento integrato occorre considerare tre fattori importanti:

- **Orientamento e inclinazione**
- **Ombreggiamenti**
- **Effetto della temperatura**



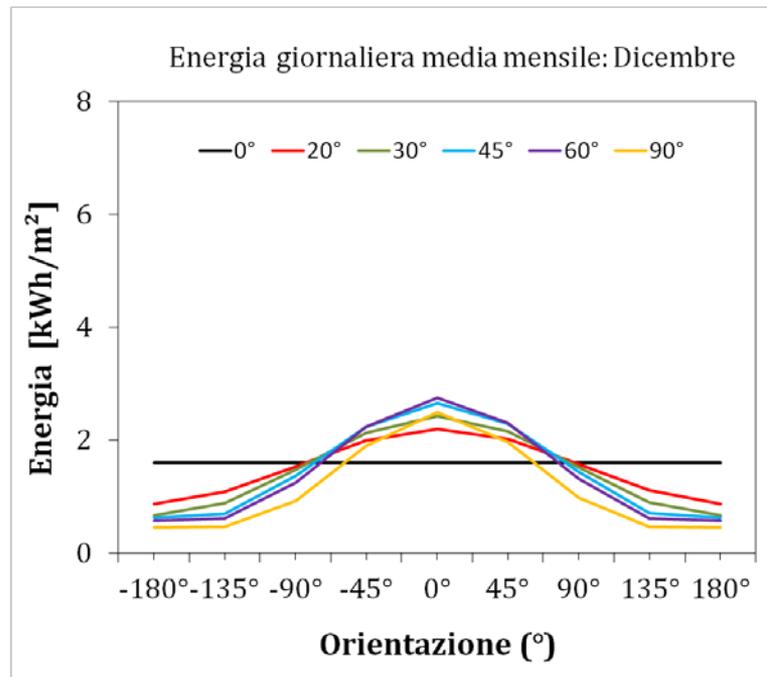
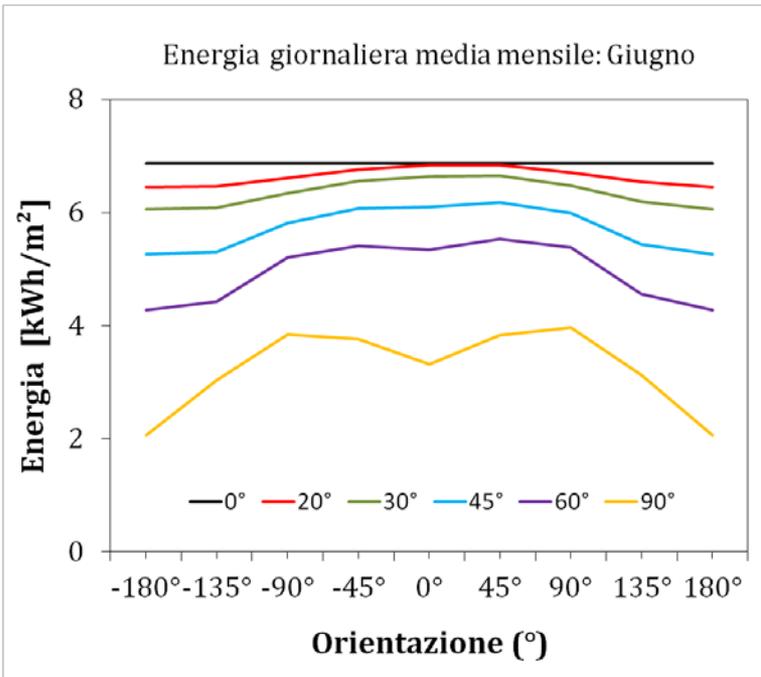
Orientamento e inclinazione



Dati stazione outdoor ESTER, Università Tor Vergata, CHOSE.



Orientamento e inclinazione



Dati stazione outdoor ESTER, Università Tor Vergata, CHOSE.



Orientamento e inclinazione

		Orientazione				
		E	SE	S	SO	O
Inclinazione	0°	89%	89%	89%	89%	89%
	30°	84%		100%		84%
	90°	54%	65%	69%	67%	54%

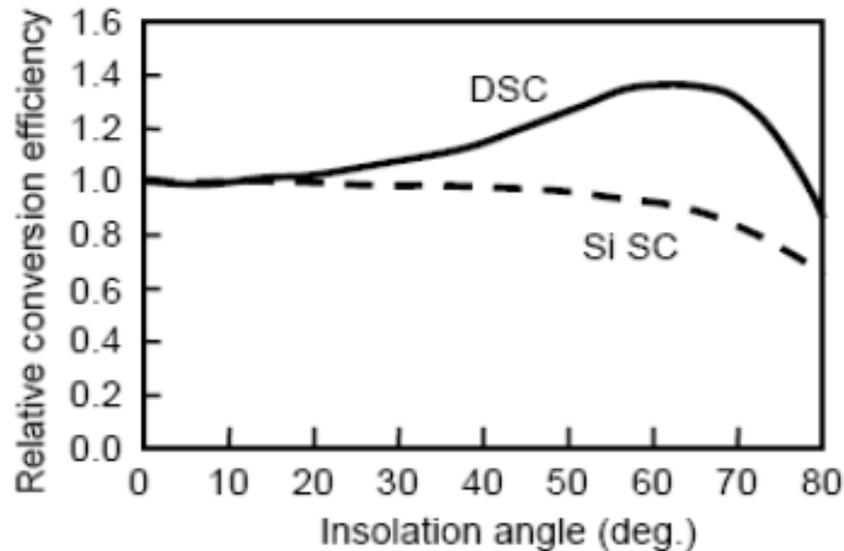
Radiazione solare annuale incidente per varie orientazioni e inclinazioni calcolata come percentuale di quella misurata in posizione ottima (30°S).

Dati stazione outdoor ESTER, Università Tor Vergata, CHOSE.



Orientamento e inclinazione

Oltre alla posizione dell'elemento fotovoltaico occorre tenere presente la dipendenza della produzione di energia dall'angolo di incidenza



Jensen, 2008, "Performance Comparison of a Dye-Sensitized and a Silicon Solar Cell under Idealized and Outdoor Conditions, Master's Thesis, Technical University of Denmark.



Ombreggiamenti

Gli ombreggiamenti vicini, ricorrenti nel caso di integrazione architettonica, possono provocare consistenti perdite di energia. Qualora gli ombreggiamenti non possano essere evitati, l'opportuna composizione di serie e paralleli delle stringhe interessate può minimizzarne l'effetto. Occorre inoltre considerare che moduli cristallini e thin film presentano una diversa struttura di collegamento delle celle che può essere considerata in fase di scelta della tecnologia più opportuna.



Effetto della temperatura

L'aumento della temperatura degli elementi fotovoltaici riduce, in generale, la produzione di energia.

L'integrazione architettonica tende a ridurre gli scambi termici tra l'elemento e l'ambiente circostante favorendo l'incremento delle temperature. L'effetto negativo sulla produzione di energia varia a seconda della tecnologia impiegata.

Tecnologia	Coefficiente di temperatura Pmax (%/°C)
c-Si	da -0.4 a -0.5
a-Si	da -0.1 a -0.3
CdTe	da -0.2 a -0.4
CIS	da -0.35 a -0.6
DSC	-0.36 (DYEPOWER)



Effetto della temperatura

Come noto, le alte temperature penalizzano il **silicio cristallino** per cui, nel caso di integrazione architettonica, è preferibile prevedere sistemi di ventilazione .

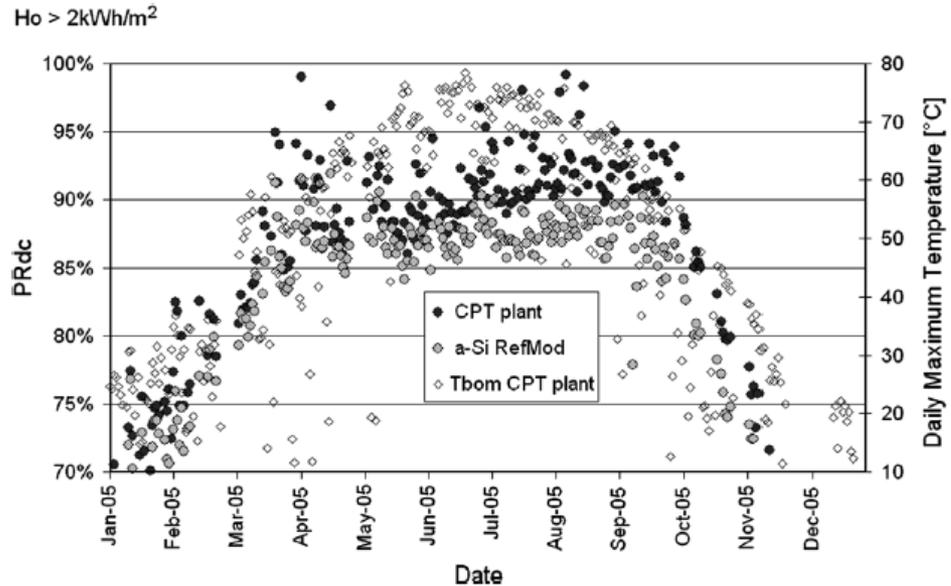
Anche le **altre tecnologie** sicuramente migliorano le proprie prestazioni in presenza di ventilazione .

Il **silicio amorfo** è il materiale che meno risente della temperatura e come tale si presta meglio all'integrazione su copertura. Anche l'effetto di "annealing " che subisce a temperature maggiori di 70 °C, può incrementare la produzione di energia.



Effetto della temperatura

Esempio di integrazione su copertura piana termicamente isolata con effetto di "annealing".

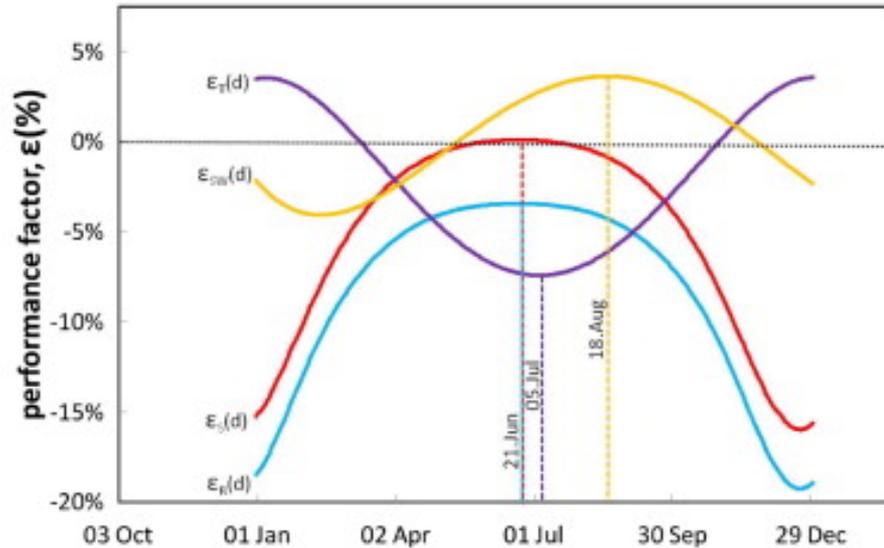


Pola, I. D. Chianese, P. Bernasconi, 2007, "Flat roof integration of a-Si triple junction modules laminated together with flexible polyolefin membranes". *Solar Energy*, 81, 1144-1188.



Effetto della temperatura

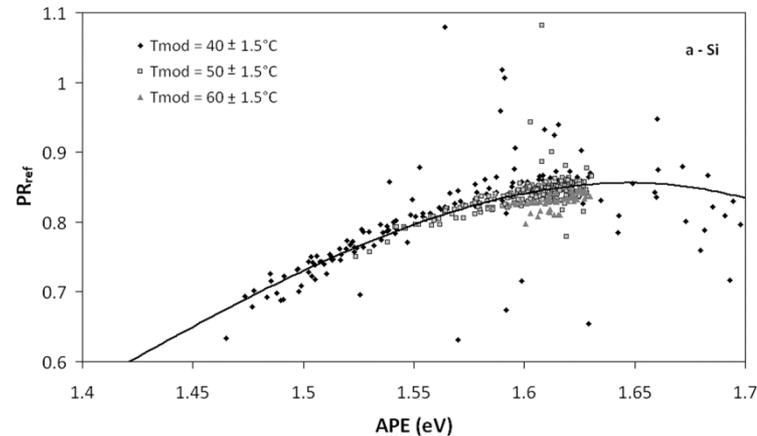
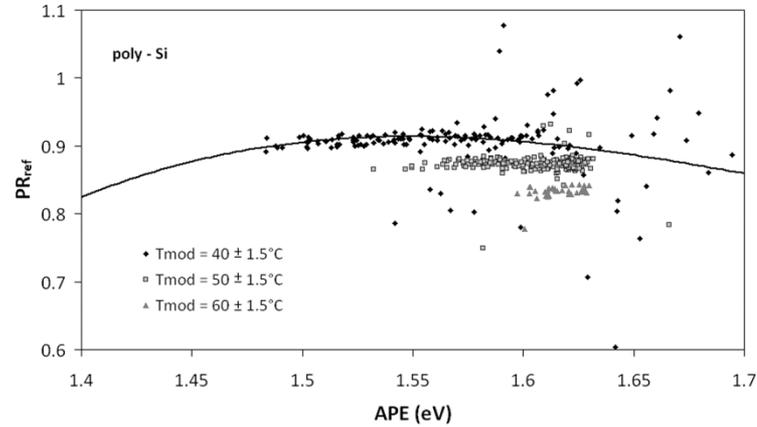
Esempio di integrazione su copertura piana termicamente isolata con effetto di "annealing".



Fanni, L., A. Virtuani, D. Chianese, 2010, "A detailed analysis of gains and losses of a fully-integrated flat roof amorphous silicon photovoltaic plant". *Solar Energy*, 85, n. 9, 2360-2373.



Effetto della temperatura



Cornaro C., A. Andreotti, 2012, "Influence of Average Photon Energy index on solar irradiance characteristics and outdoor performance of photovoltaic modules", Prog. Photovolt: Res. Appl., pub. online, April 2012.

Confronto tra tecnologie per integrazione su facciata



Nel periodo Agosto – Ottobre 2011 è stato effettuato un test di confronto delle tre tecnologie, silicio **cristallino**, silicio **amorfo** e **DSC** in configurazione Verticale - SUD per individuare se esistessero sostanziali differenze di prestazione.

Table 1 – Characteristics at STC of the PV devices under test.

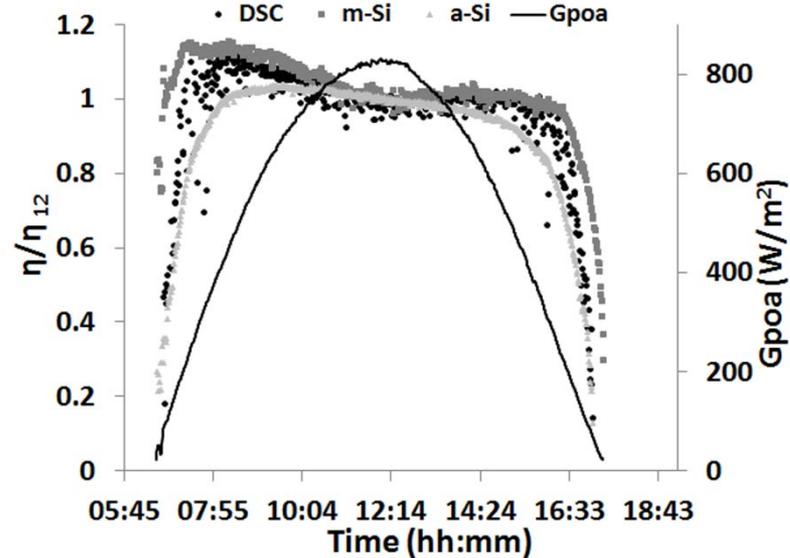
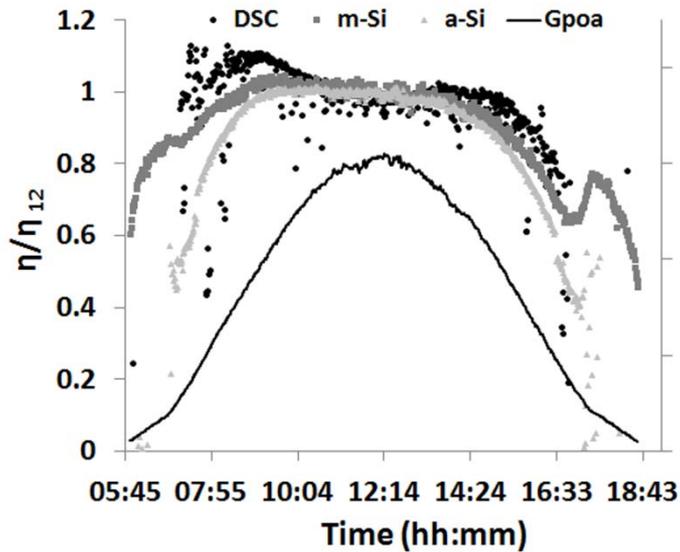
Manufacturer	Model	Pmax [W]	Im [A]	Vm [V]	Isc [A]	Voc [V]	FF [%]	η [%]
Dyepower	DP-Z-2.5W	2.32	0.112	20.72	0.139	28.95	57.49	4.50
Helios Technology	HMA214P	214	7.460	28.69	8.030	36.63	72.75	13.1
EPV Solar	EPV-50	50	1.274	44.39	1.552	60.27	53.45	5.32



Cornaro C. et al., 2012, "Comparative analysis of the outdoor performance of a Dye Solar Cell minipanel for Building Integrated Photovoltaic applications", submitted to Prog. Photovolt: Res. Appl

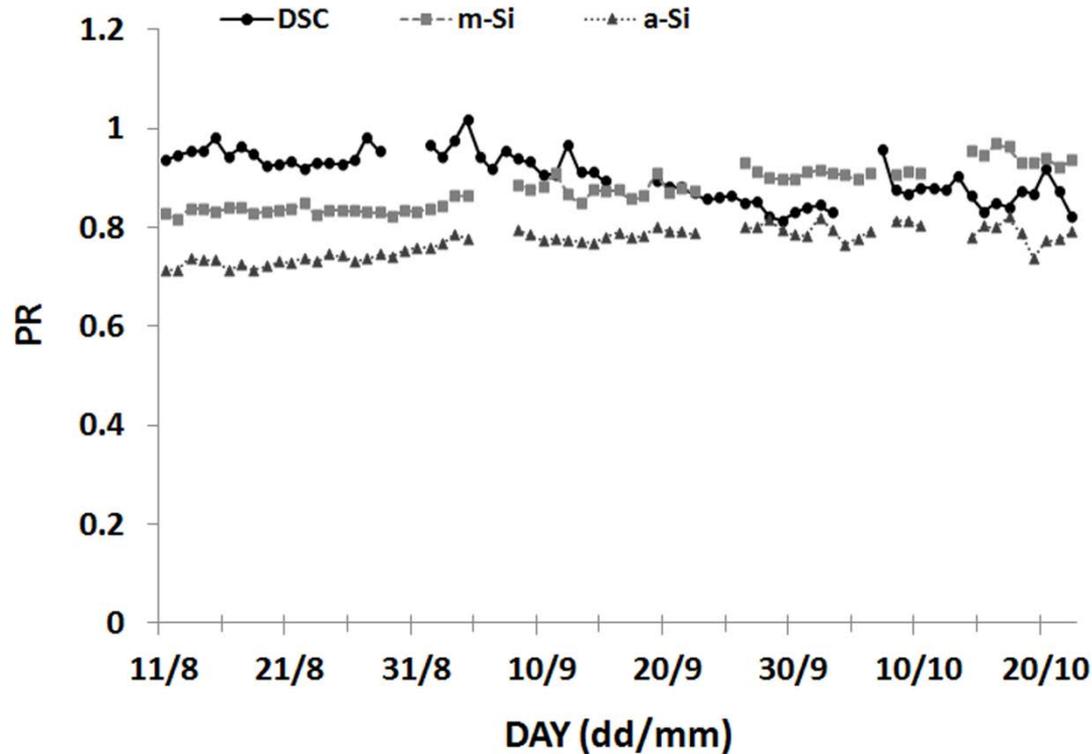
Confronto tra tecnologie per integrazione su facciata

Efficienza normalizzata delle tre tecnologie per un giorno di Agosto e Ottobre 2011.



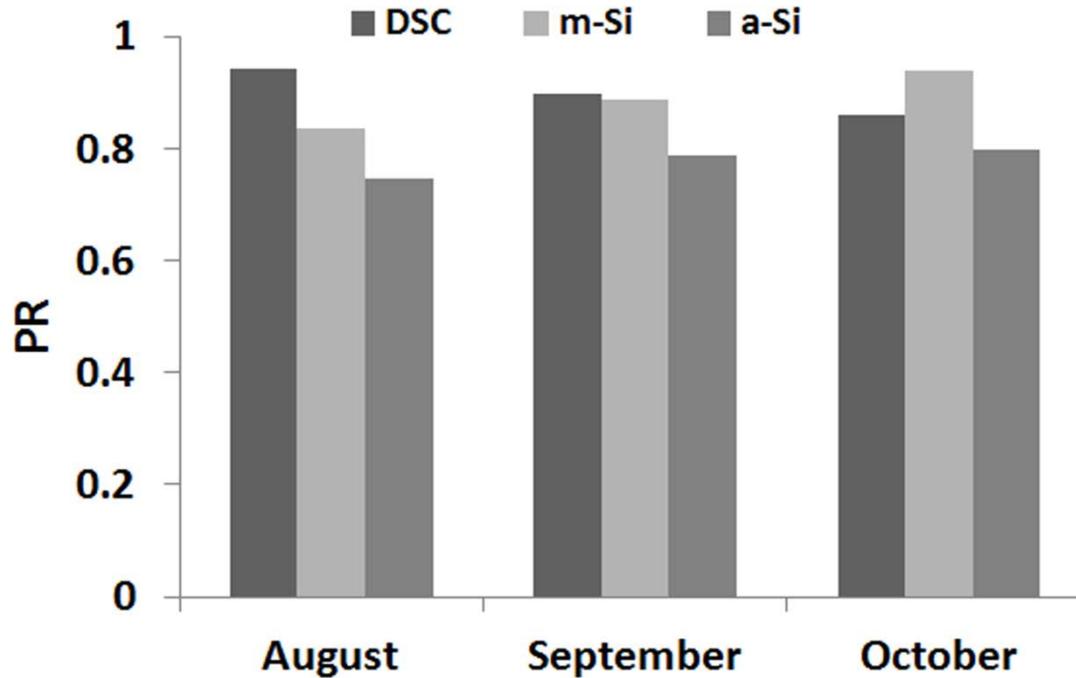
Cornaro C. et al., 2012, "Comparative analysis of the outdoor performance of a Dye Solar Cell minipanel for Building Integrated Photovoltaic applications", submitted to Prog. Photovolt: Res. Appl

Confronto tra tecnologie per integrazione su facciata



Cornaro C. et al., 2012, "Comparative analysis of the outdoor performance of a Dye Solar Cell minipanel for Building Integrated Photovoltaic applications", submitted to Prog. Photovolt: Res. Appl

Confronto tra tecnologie per integrazione su facciata



Cornaro C. et al., 2012, "Comparative analysis of the outdoor performance of a Dye Solar Cell minipanel for Building Integrated Photovoltaic applications", submitted to Prog. Photovolt: Res. Appl

Esiste una tecnologia migliore delle altre per l'integrazione architettonica?



Esiste una tecnologia migliore delle altre per l'integrazione architettonica?

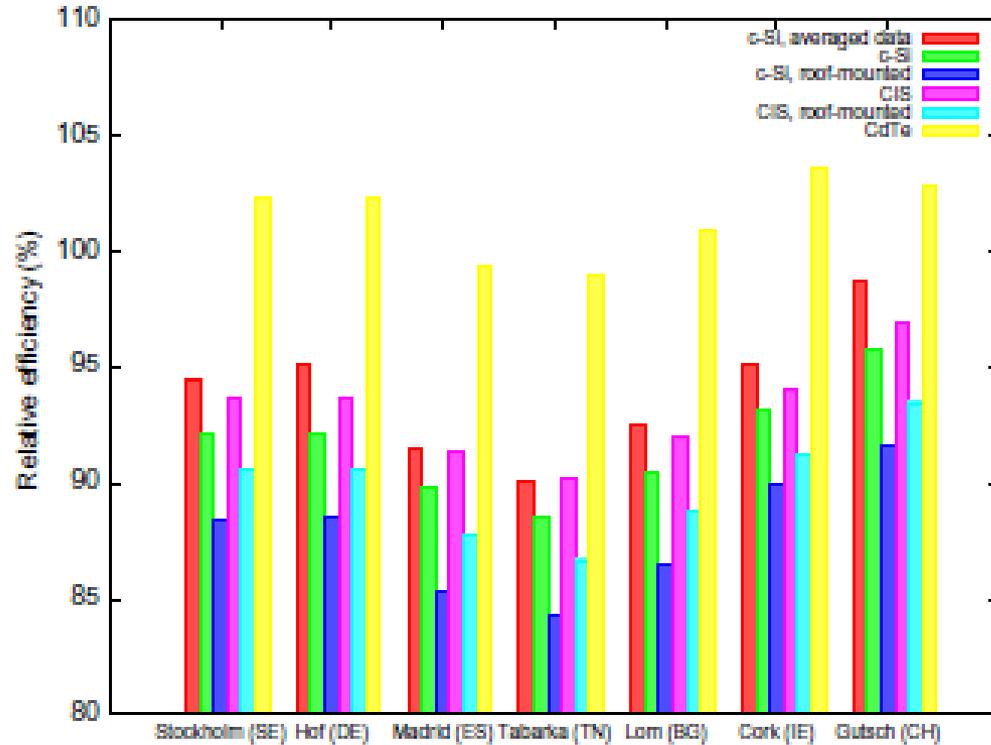
Le conoscenze attualmente a disposizione sul comportamento delle tecnologie in relazione alle variabili ambientali ci permettono di selezionare il dispositivo più "produttivo" per un determinato uso.

E' necessario però continuare a sperimentare e caratterizzare gli elementi fotovoltaici per incrementare le informazioni a disposizione dei progettisti per una corretta scelta degli elementi da integrare.

Occorre inoltre dare impulso alla ricerca di innovative soluzioni di integrazione considerando anche le novità introdotte dal fotovoltaico DSC e organico che bene si presta a questi usi.



Esiste una tecnologia migliore delle altre per l'integrazione architettonica?



Huld, T. R. Gottschalg, H. G. Beyer, M. Topic, 2010, "Mapping the performance of PV modules, effects of module type and data averaging", Solar Energy 84, 324-338



Technology Product	Thin Film	Crystalline Silicon
Standard in-roof systems	<ul style="list-style-type: none"> No market penetration ☹️ 	<ul style="list-style-type: none"> Higher yields and higher efficiency (less area needed). 😊
Semitransparent system (glass/ glass Module)	<ul style="list-style-type: none"> Design option due to different colors 😊 Thin Films cells have uniform appearance, suitable for flush mounting 😊 High cost and very low efficiency ☹️ 	<ul style="list-style-type: none"> Marginal daylight elimination / capacity to play with light intake 😊 Ideal for Skylights 😊 Limited sizes and shapes of cells (unappealing) ☹️ Silver tabbing crosses the transparent spaces between cells ☹️
Cladding systems	<ul style="list-style-type: none"> Better performance under non-ventilated facades (higher temperature) 😊 Design option due to different colors 😊 Better performance with indirect/diffuse light 😊 	<ul style="list-style-type: none"> Futuristic/ Green building marketing 😊 lower performance under non-ventilated facades (higher temperature) ☹️ lower performance with indirect/diffuse light ☹️
Solar Tiles and shingles	<ul style="list-style-type: none"> CIGS solution to become operational 😊 No products available so far ☹️ 	<ul style="list-style-type: none"> Higher yields and higher efficiency (less area needed). 😊 Wide range of products available 😊
Flexible laminates	<ul style="list-style-type: none"> Very low weight (suitable for weak roofs) 😊 Easy handling and installation 😊 No roof penetration 😊 Curved installations possible 😊 Low efficiency (large area needed) ☹️ 	<ul style="list-style-type: none"> No products available so far ☹️



Fonte: D. Fraile Montoro, P.Vanbuggenhout, J.Ciesielska, 2009 "Building integrated Photovoltaics: An overview of the existing products and their fields of application" EPIA Report, 2009.

Alcune scelte

A seconda della tipologia di integrazione da adottare è possibile riconoscere la tecnologia che meglio si adatta a quel particolare uso:

- Coperture industriali



Fonte: Green Utility SPA
Nuova Fiera di Roma, moduli Unisolar
www.greenutility.it



Fonte: Flexcell, moduli Flexcell
www.flexcell.com

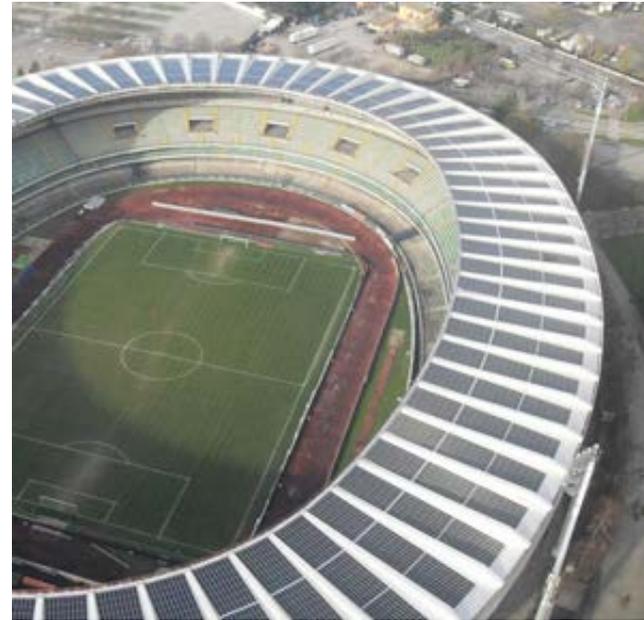


Alcune scelte

- Coperture speciali



Fonte: Aula Nervi, Citta del Vaticano, moduli Solar World
Archivio personale

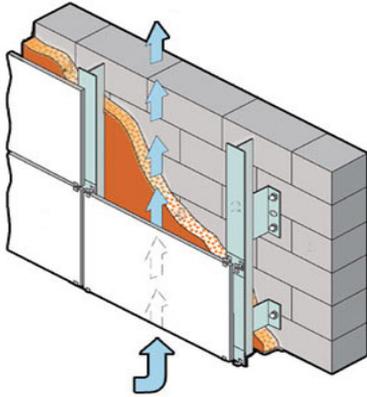


Fonte: Stadio Bentegodi, Comune di Verona,
moduli First Solar



Alcune scelte

- Facciate ventilate opache e trasparenti



Fonte: ISAAC SUPSI BIPV
www.bipv.ch

Fonte: DYESOL, Australia
www.dyesol.com



Alcune scelte

- Lucernari



Fonte: Onyx Solar
www.onyx solar.com

Grazie per l'attenzione

Visita ESTER a www.ester.uniroma2.it