



SUPSI
Swiss PV Module Test Centre
Accredited ISO 17025
by SAS under n.531



VALUTAZIONE DELLE OMBRE E DELL'IRRAGGIAMENTO
DEL SISTEMA SOLAR RETROFIT

Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana
Dipartimento ambiente costruzioni e design
Istituto sostenibilità applicata all'ambiente costruito

SUPSI

Swiss BiPV Competence Centre

Campus Trevano, CH-6952 Canobbio
T +41 (0)58 666 63 20, F +41 (0)58 666 63 49

info@bipv.ch, www.bipv.ch
N. IVA 425.112

OGGETTO SOLAR RETROFIT

TITOLO **VALUTAZIONE DELLE OMBRE E DELL'IRRAGGIAMENTO DEL SISTEMA SOLAR RETROFIT**

COMMITTENTE Emanuele Lanteri
 via alla Fontana 9
 IT-28921 Verbania

ESTENSORE RAPPORTO DR. ing. Francesco Frontini

LUOGO E DATA Lugano/Canobbio, 21 novembre 2012

INDICE

1	Processo di calcolo	3
2	Nomenclatura e nozioni di base	3
2.1	Geometria solare	3
2.2	Riflessione	4
3	Definizione delle varianti.....	5
4	Risultati.....	10
4.1	Prima variante	11
4.2	Seconda variante	13
4.3	Terza variante	15
5	Conclusioni	16

1 Processo di calcolo

Le simulazioni sono state effettuate in due steps differenti:

- Definizione della geometria solare per le coordinate relative a Lugano (CH) e successiva preparazione del modello geometrico.
- Simulazione dinamica annuale utilizzando il software RADIANCE/DAYSIM. Le simulazioni sono state effettuate, con un time-step di un ora, per tutto l'anno con condizioni climatiche reali (sia la radiazione solare diretta sia quella diffusa sono state considerate come dati di input).

2 Nomenclatura e nozioni di base

In questo paragrafo sono spiegati alcuni concetti fondamentali per poter comprendere meglio le simulazioni ed i risultati riportati in questo rapporto.

2.1 Geometria solare

Altezza solare: α_s è l'angolo formato dal raggio solare e il piano terrestre.

Azimuth solare: γ_s è l'angolo formato dalla proiezione del raggio solare sul piano terrestre e il Sud.

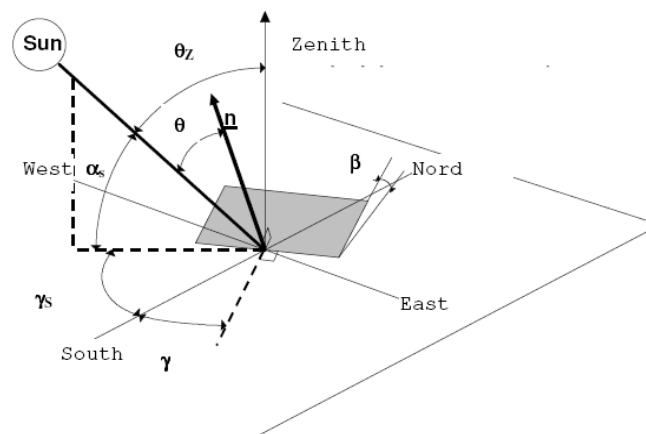


Figura 1: Rappresentazione degli angoli solari fondamentali.

Angolo di profilo: α_p è l'angolo generato dalla proiezione dell'altezza solare sul piano verticale contenente la normale alla superficie considerate (in questo caso la facciata).

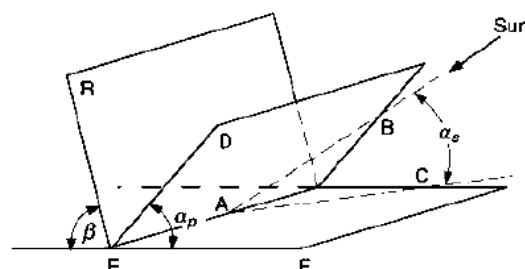


Figura 2- α_p è l'angolo di profilo formato dalla proiezione del piano contenente il raggio solare e la normale alla facciata (angolo DAF).

La radiazione che raggiunge una superficie generalmente inclinata è composta da: radiazione diretta, radiazione diffusa, albedo.

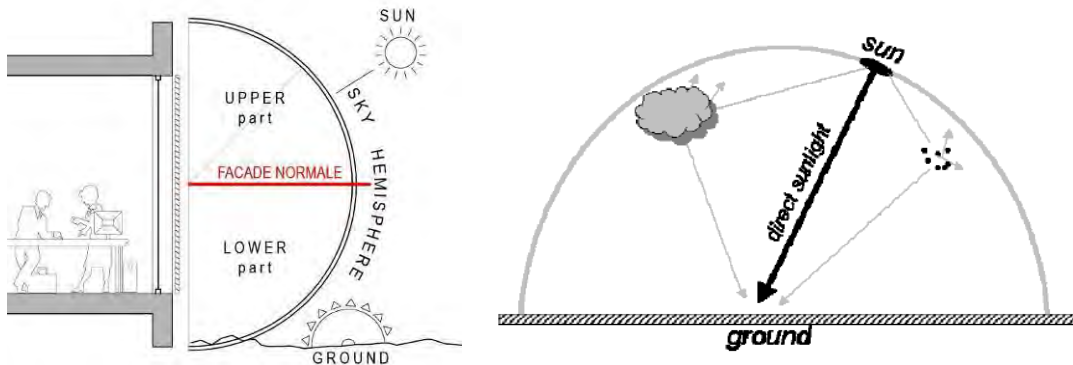


Figura 3: la radiazione che raggiunge una facciata può essere scomposta in radiazione diretta (proveniente dal sole), radiazione diffusa (proveniente dal cielo o riflessa dagli edifici vicini) e dalla componente riflessa dal terreno (albedo).

2.2 Riflessione

Nella riflessione, la luce che cade su un corpo è riflessa secondo il fattore di riflessione di tale corpo. Oltre al grado di riflessione, nella riflessione svolge ancora una volta un ruolo anche il grado di diffusione della luce respinta.

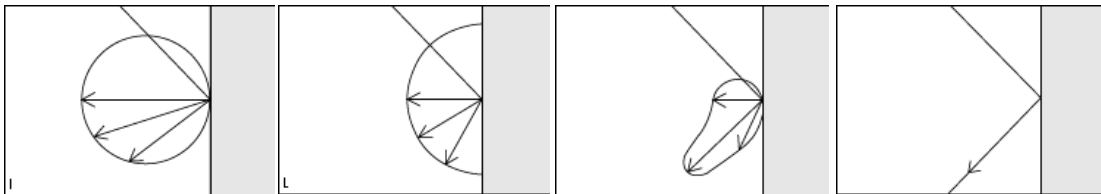


Figura 4: Riflessione diffusa, riflessione lambertiana, riflessione mista, riflessione speculare.

ρ_{tot} : indica la riflessione totale ovvero la quantità totale di luce/energia riflessa dal corpo (riflettore).

ρ_{diff} : indica la percentuale di energia riflessa in modo diffuso.

ρ_{spec} : indica la percentuale di energia riflessa in modo speculare.

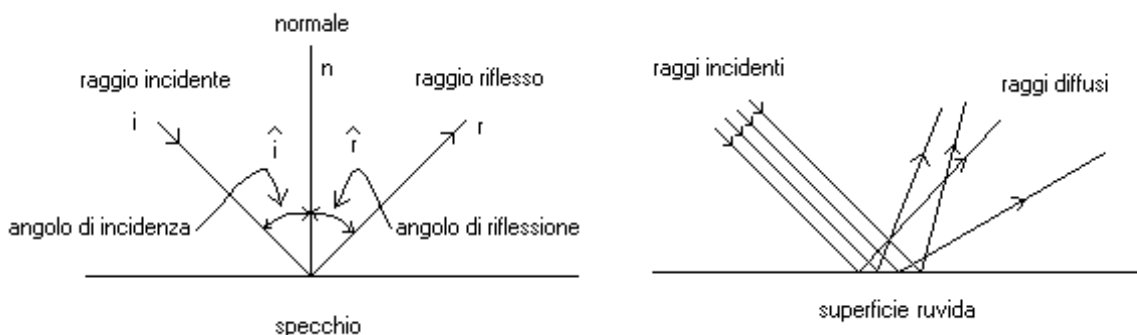


Figura 5: Schematizzazione della riflessione speculare (sinistra) dove l'angolo di riflessione è uguale all'angolo incidente ($i = r$) e diffusa (destra).

3 Definizione delle varianti

Le simulazioni sono state effettuate per le condizioni climatiche di Lugano (Latitudine 46° Nord, Longitudine 9° Est). I dati relativi la radiazione solare diffusa e diretta sono stati presi dal database di Meteonorm (Meteotest).

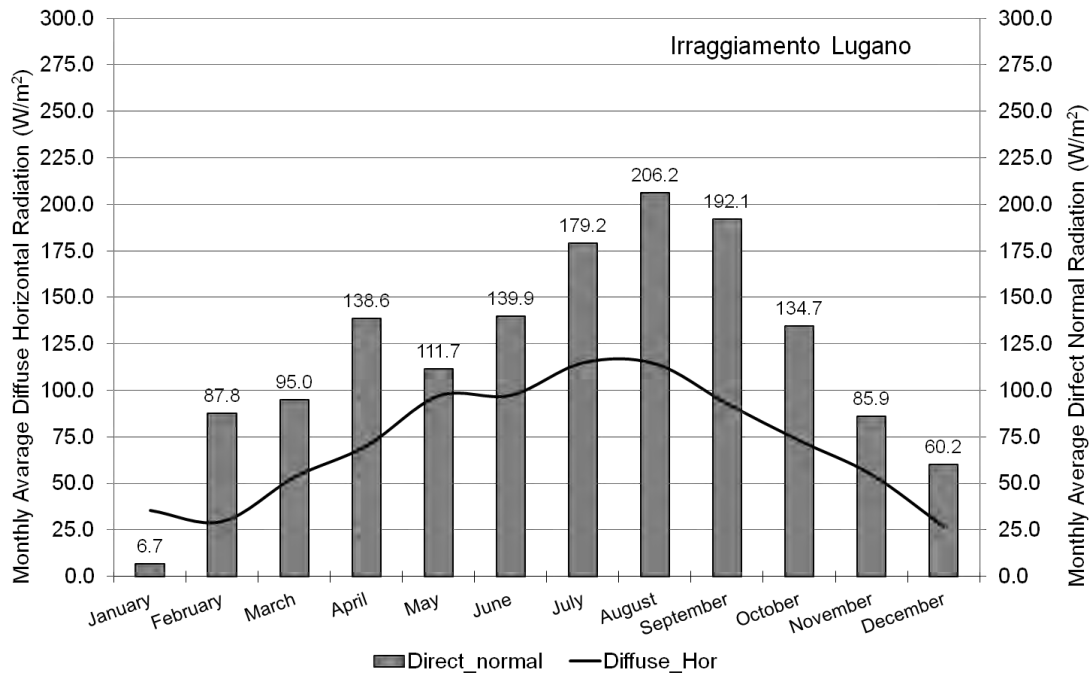


Figura 6: rappresentazione dell'irraggiamento medio a Lugano sul piano orizzontale (fonte Meteonorm).

Sono state simulate tre varianti geometriche. Ogni variante geometrica è stata inoltre simulata con tre tipologie di materiali riflettenti e senza riflettore. Come caso di riferimento è stata considerata un'installazione in facciata (inclinazione modulo 90°) che viene chiamata "Facciata".

Il modulo fotovoltaico considerato è il Solsonica S 606 S, da 48 celle (6x8) da 156mm, con queste dimensioni:

- Larghezza: 998mm
- Lunghezza: 1347mm
- Spessore: 45mm

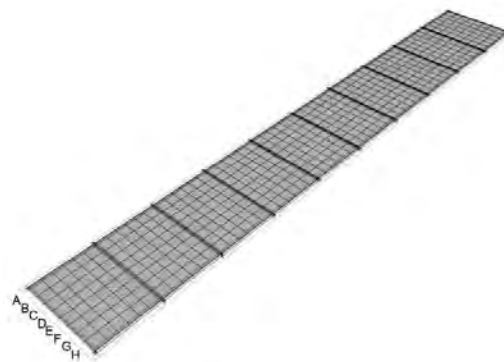


Figura 7: Sono stati considerati dieci moduli per stringa. Ogni stringa è stata suddivisa in 8 fasce di irraggiamento (A-H).

Ogni stringa è composta da 10 moduli distinti. Ad ogni modulo è stata assegnata una maglia di sensori 8 x 6 ogni sensore è in corrispondenza di una cella fotovoltaica.

Tabella 1: Definizione delle varianti simulate.

Var. Num.	Angolo modulo (α)	Angolo riflettore (β)	Distanza moduli	Riflessione tot	% Riflessione speculare	% Riflessione diffusa
V01a	30°	45°	1.86m	90%	0%	100%
V01b	30°	45°	1.86m	90%	60%	40%
V01c	30°	45°	1.86m	70%	60%	40%
V01d	30°	No riflettore	1.86m	-	-	-
V02a	30°	60°	2.70m	90%	0%	100%
V02b	30°	60°	2.70m	90%	60%	40%
V02c	30°	60°	2.70m	70%	60%	40%
V02d	30°	No riflettore	2.70m	-	-	-
V03a	30°	75°	5.10m	90%	0%	100%
V03b	30°	75°	5.10m	90%	60%	40%
V03c	30°	75°	5.10m	70%	60%	40%
V03d	30°	No riflettore	-	-	-	-
Facciata	90°	No riflettore	0.10m	-	-	-

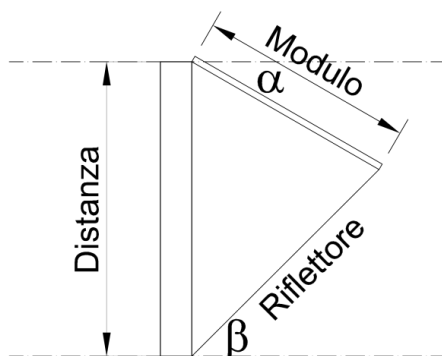


Figura 8: L'immagine rappresenta gli angoli di inclinazione del modulo (α) e del riflettore (β).

I tre materiali riflettenti rappresentano:

- superficie plastica/tessuto perfettamente diffondente: $\rho_{tot}=90\%$; $\rho_{spec}=0\%$, assorbimento 10%
- superficie tipo alluminio: $\rho_{tot}=90\%$; $\rho_{spec}=60\%$, assorbimento 10%
- superficie tipo griglia metallica galvanizzata: $\rho_{tot}=70\%$; $\rho_{spec}=60\%$, assorbimento 30%

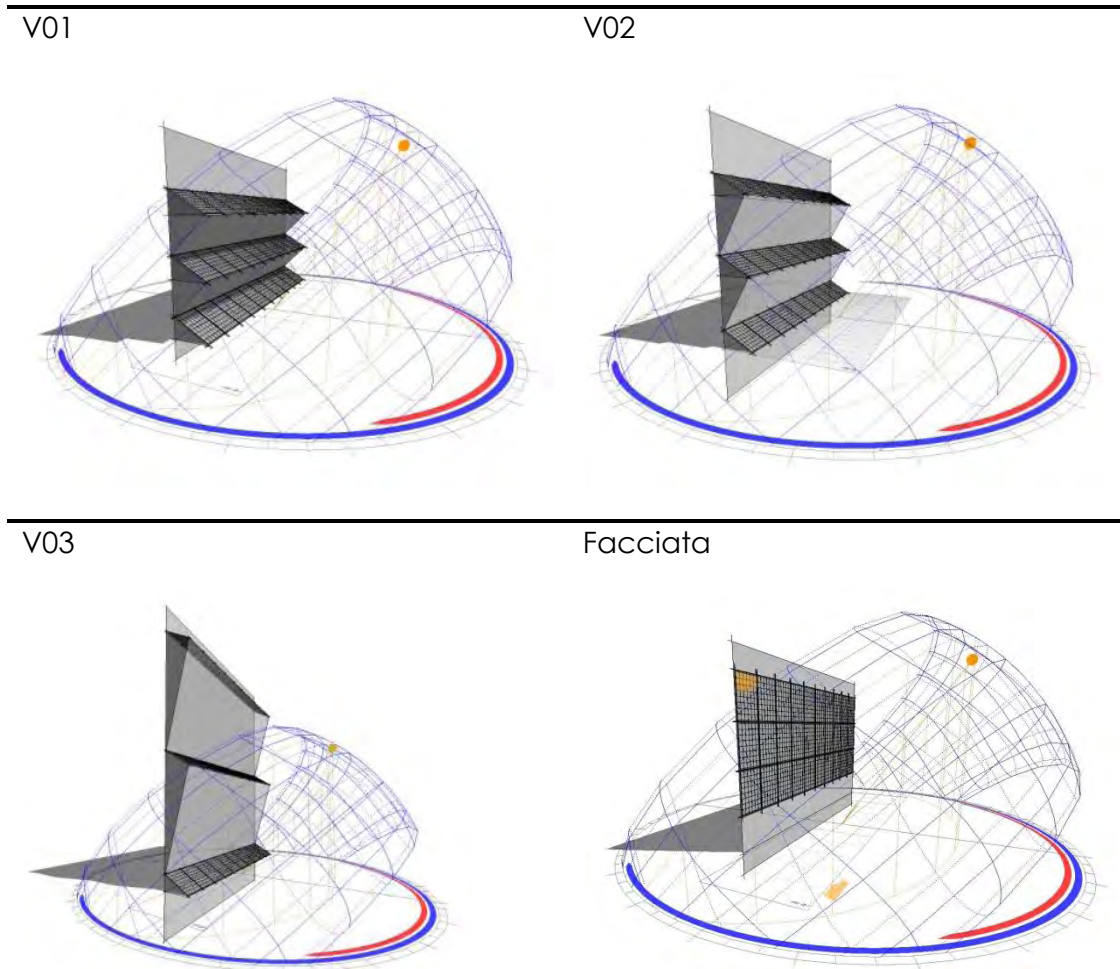


Figura 9: Le quattro figure rappresentano le tre varianti simulate e l'installazione di riferimento in facciata: V01, V02, V03 e Facciata.

L'angolo di inclinazione del modulo fotovoltaico è stato scelto per massimizzare l'irraggiamento sul modulo durante tutto l'anno.

L'angolo di inclinazione del riflettore invece determina la distanza tra una fila di moduli e la successiva. Per questo sono state scelte tre differenti configurazioni:

- V01: massimizza il numero di stringhe a parità di superficie disponibile. Tre stringhe di moduli possono essere installati in 4,41m di facciata lineare
- V02: Rappresenta una situazione intermedia tra V01 e V03. Tre stringhe di moduli possono essere installati in 6,15m di facciata lineare
- V03: Minimizza le ombre portate dal pannello superiore su quello inferiore. L'angolo è stato calcolato in funzione dell'angolo di profilo per una facciata esposta a Sud a Lugano. In questa variante il numero delle file di moduli, a parità di superficie, è il minimo. Tre stringhe di moduli possono essere installati in 10,88m di facciata lineare

- Facciata: i moduli sono installati complanari alla facciata. Tre stringhe di moduli possono essere installati in 4,12m di facciata lineare.

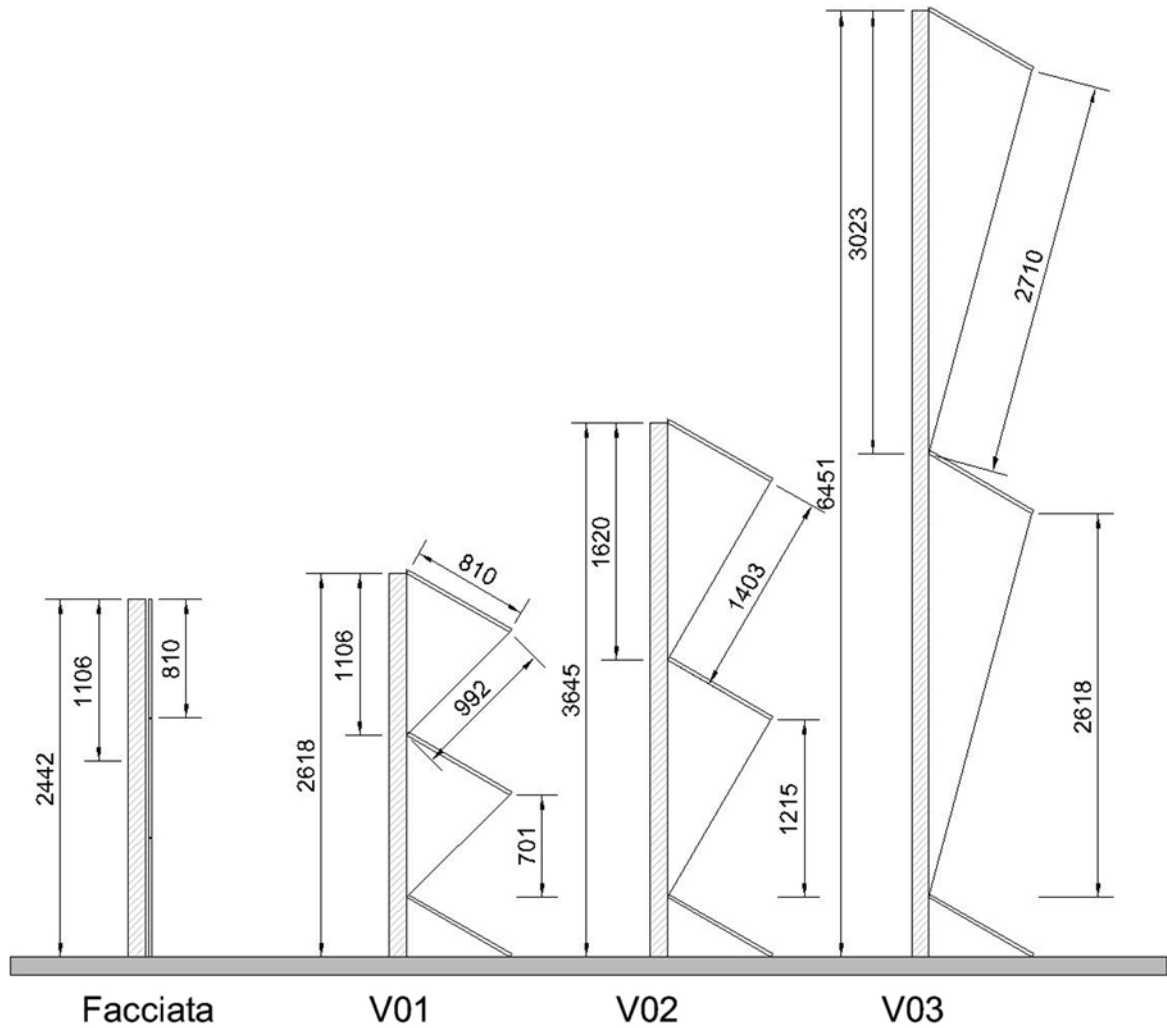


Figura 10: Rappresentazione delle dimensioni delle variante V01, V02, V03 e Facciata.

Le tre configurazioni sono state scelte per coprire i due casi estremi, ombreggiamento assente (V03) e massimo numero di moduli (V01), e per avere una situazione intermedia (V02). La soluzione V03 è stata determinata calcolando l'angolo di profilo massimo generato dal Sole e da una facciata verticale orientata a SUD a Lugano (vedere Figura 11)

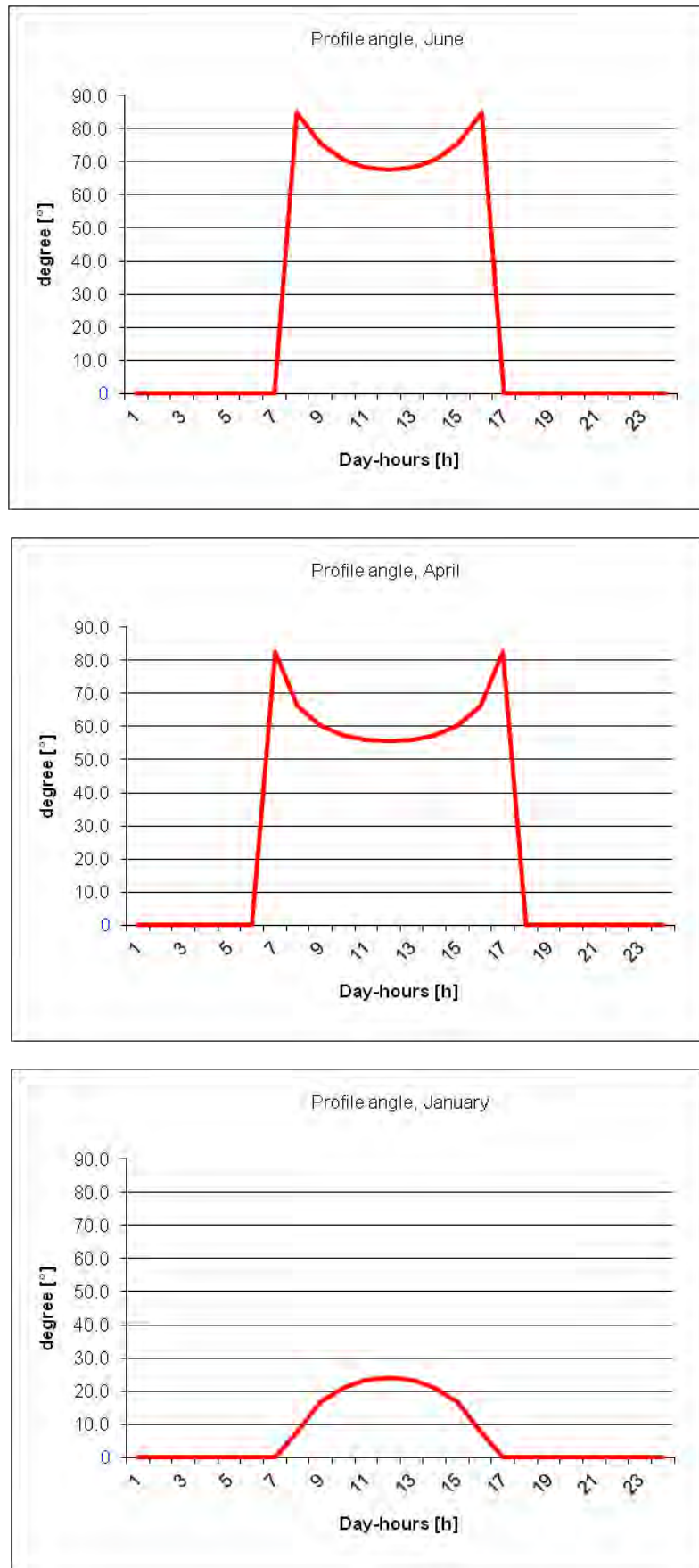


Figura 11: I tre grafici rappresentano gli angoli di profilo per una facciata verticale a Lugano, per i mesi di Giugno, Aprile e Gennaio.

4 Risultati

Sono state considerate tre stringhe di moduli installate su una facciata verticale orientata a Sud, l'analisi è stata effettuata solo per la stringa centrale in modo da considerare gli eventuali guadagni dovuti al riflettore.

È stata creata una griglia complanare ai moduli fotovoltaici in esame la griglia, che misura 1347mm per 10178mm, con 480 sensori, uno in corrispondenza di ogni cella fotovoltaica (6x8 per 10 moduli).

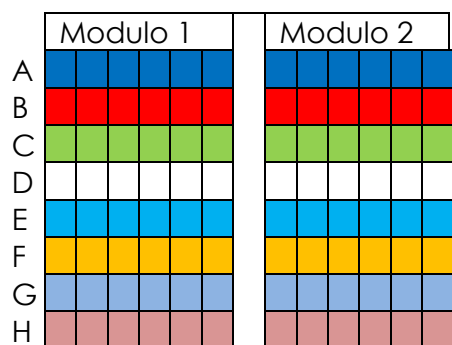


Figura 12: Per analizzare i dati, sono state identificate otto aree (A-H). La più vicina al muro dell'edificio è l'area "H" ed è quella che risulta più ombreggiata. Ogni area ha la larghezza di una cella fotovoltaica e si estende per tutta la stringa.

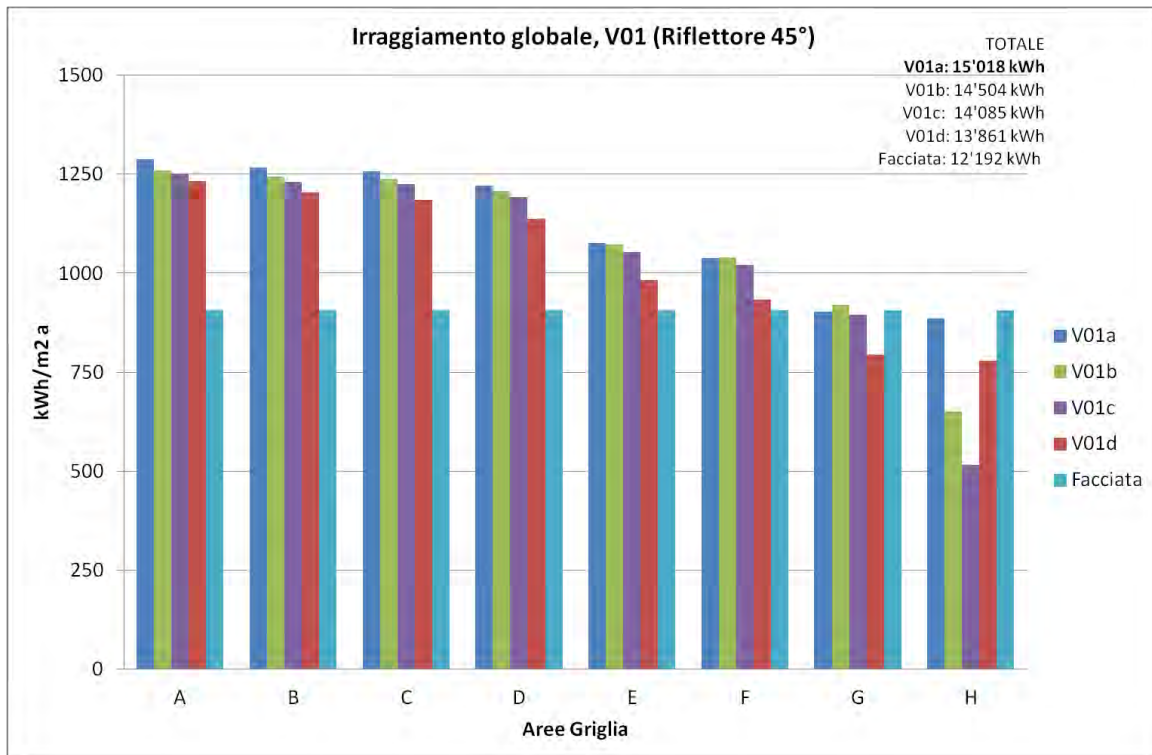
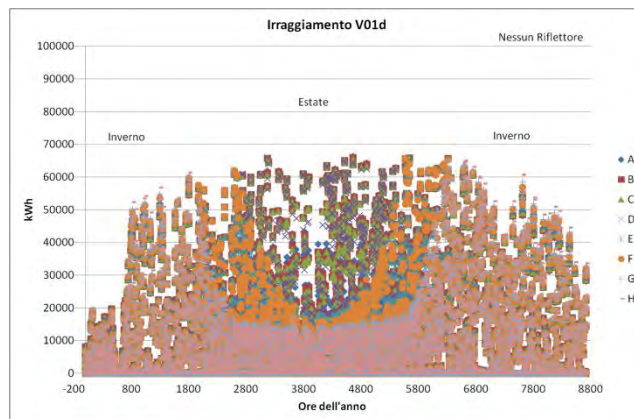
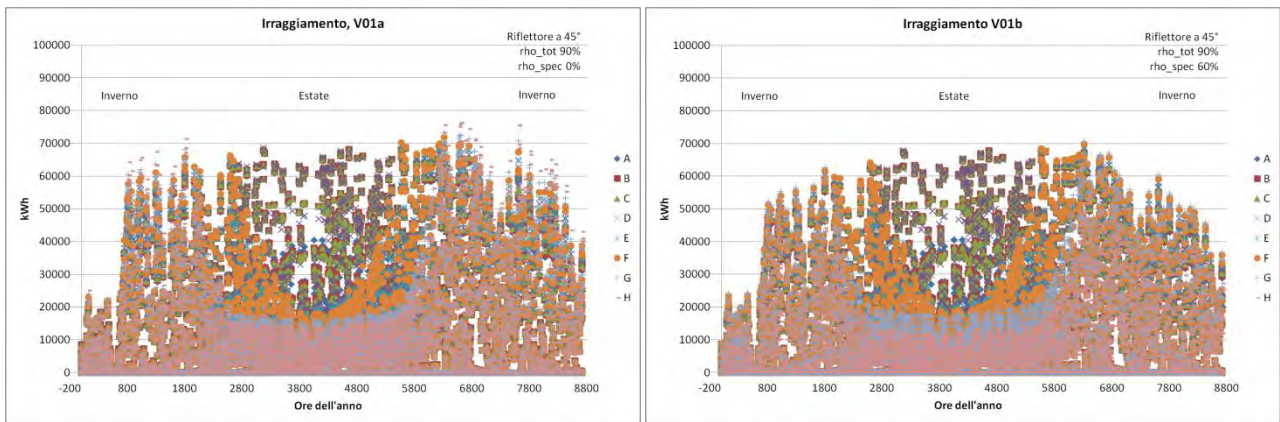
I risultati delle simulazioni effettuate con il software Radiance/Daysim vengono rappresentate nei prossimi tre paragrafi e sono suddivise per le tre varianti :

- V01: riflettore a 45°
- V02: riflettore a 60°
- V03: riflettore a 75°

I primi tre grafici, realizzati per le tre varianti, rappresentano i valori orari di irraggiamento sulle otto fasce di sensori (A-H).

Il quarto grafico invece mostra l'irraggiamento annuale medio sulle otto fasce di sensori.

4.1 Prima variante



Per le variante V01, dove i moduli sono più compatti, l'effetto del riflettore è considerevole. Anche le proprietà di riflessione del riflettore hanno un ruolo sull'irraggiamento globale sul modulo.

In particolare la soluzione V01a (rho 90% perfettamente diffondente) rappresenta la soluzione migliore con 15'018 kWh annui rispetto ai 13'861 kWh della soluzione senza riflettore V01d e dei 12'192 kWh della situazione di riferimento dove i moduli sono posizionati verticalmente a 90°.

I vantaggi si evidenziano soprattutto durante il periodo invernale.

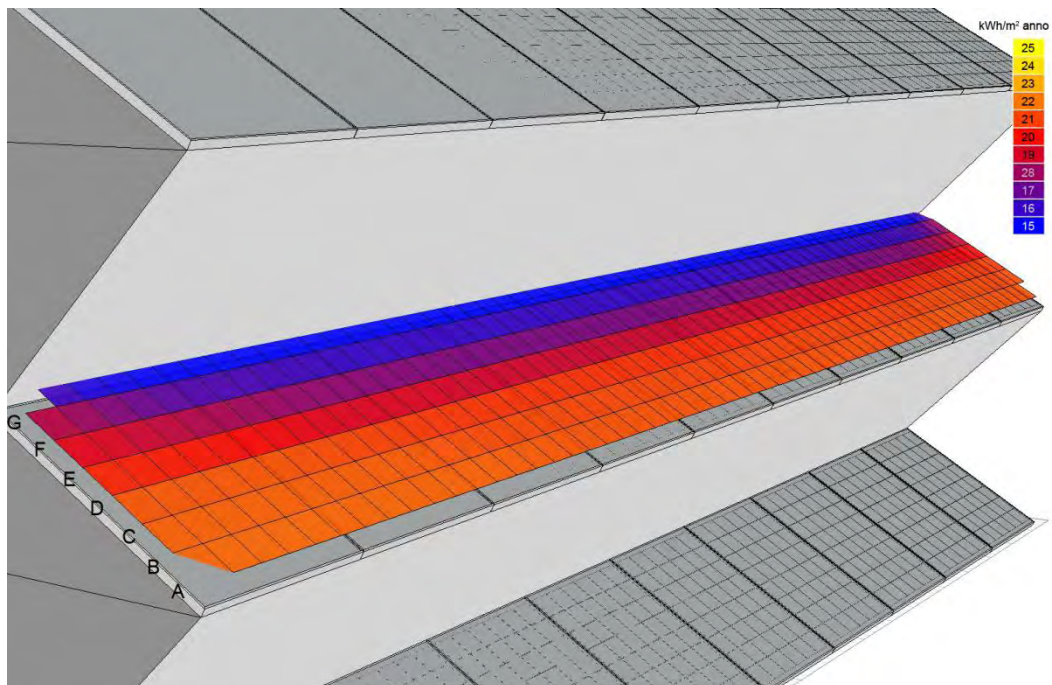
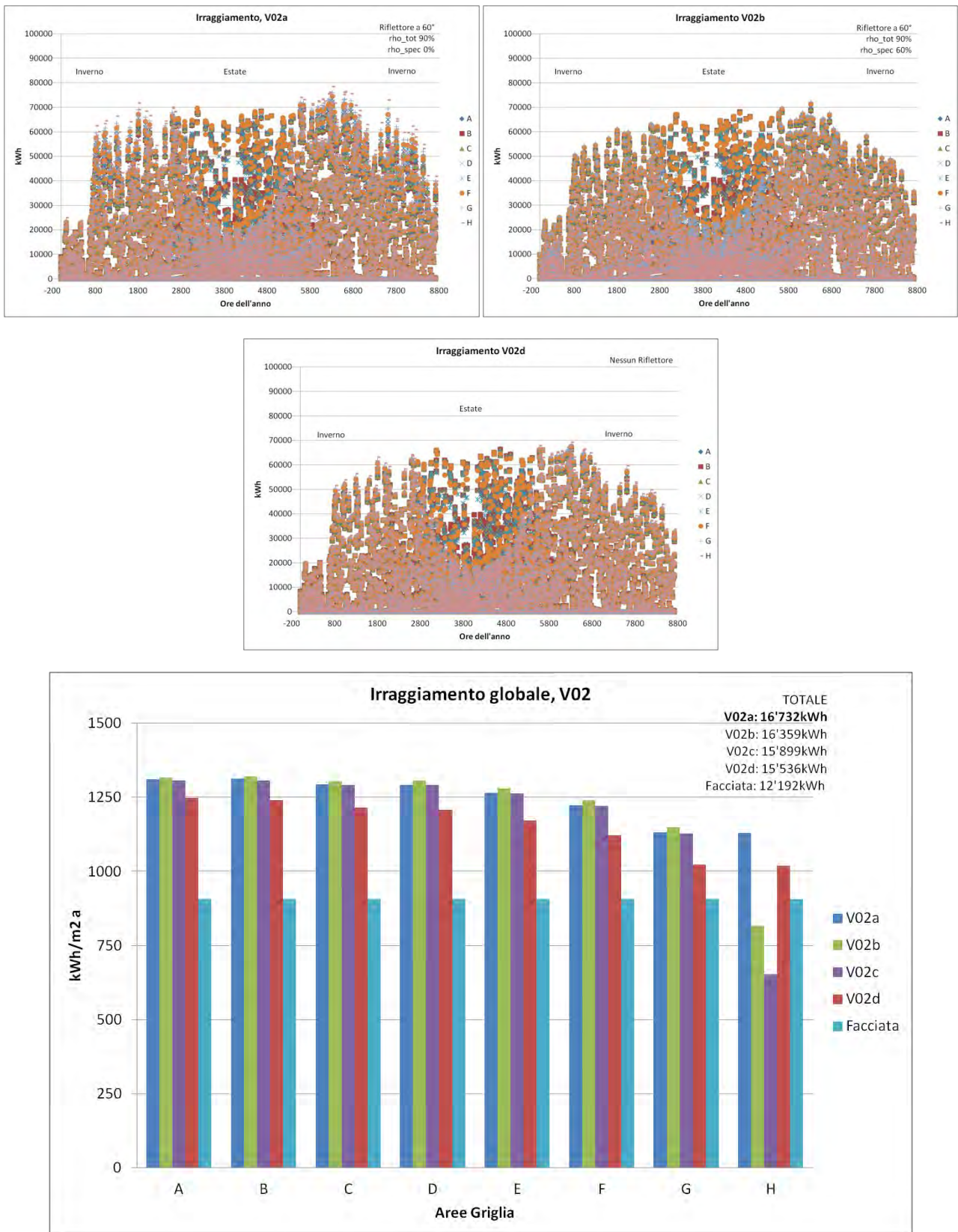


Figura 13: Rappresentazione dell'irraggiamento per la soluzione V01a

4.2 Seconda variante



La variante V02 rappresenta la soluzione intermedia in termini di Irraggiamento globale sul piano dei moduli.

Anche in questo caso la soluzione migliore risulta la V01a con 16'732 kWh che permette di guadagnare circa il 10% rispetto alla soluzione V02d senza riflettore.

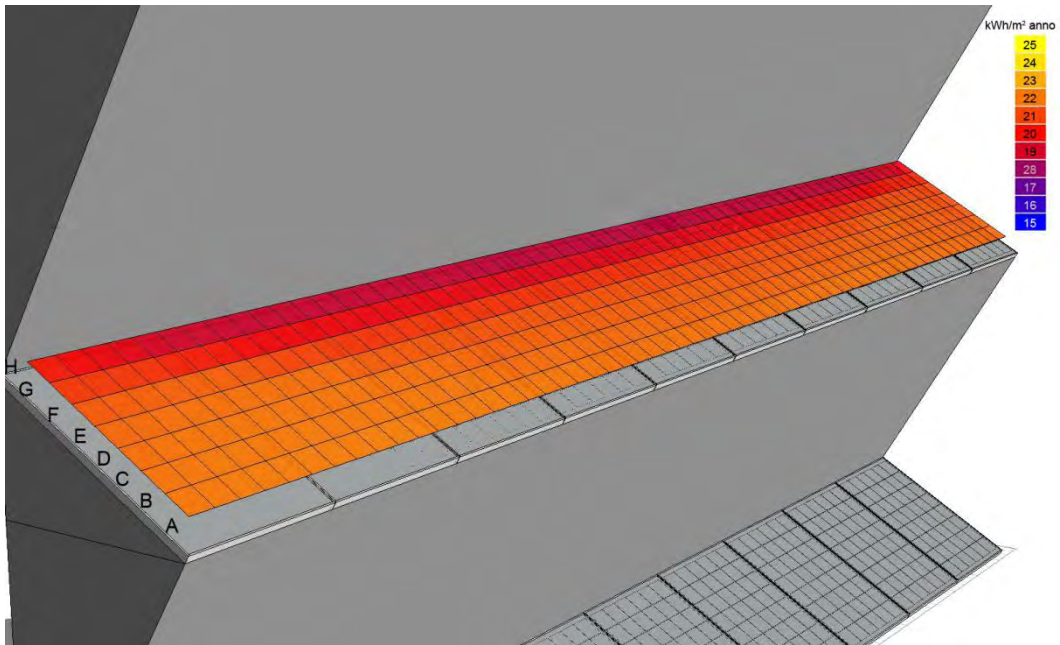
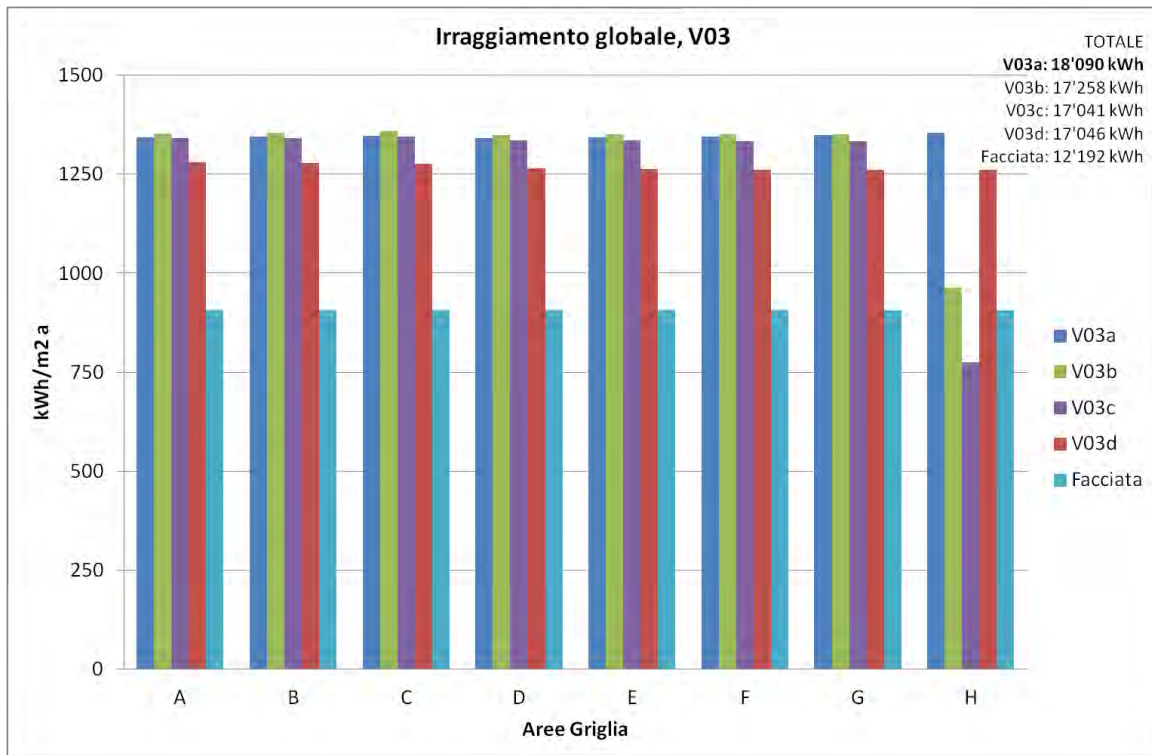
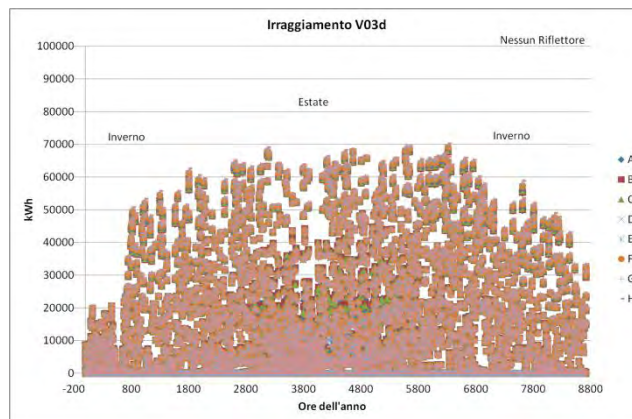
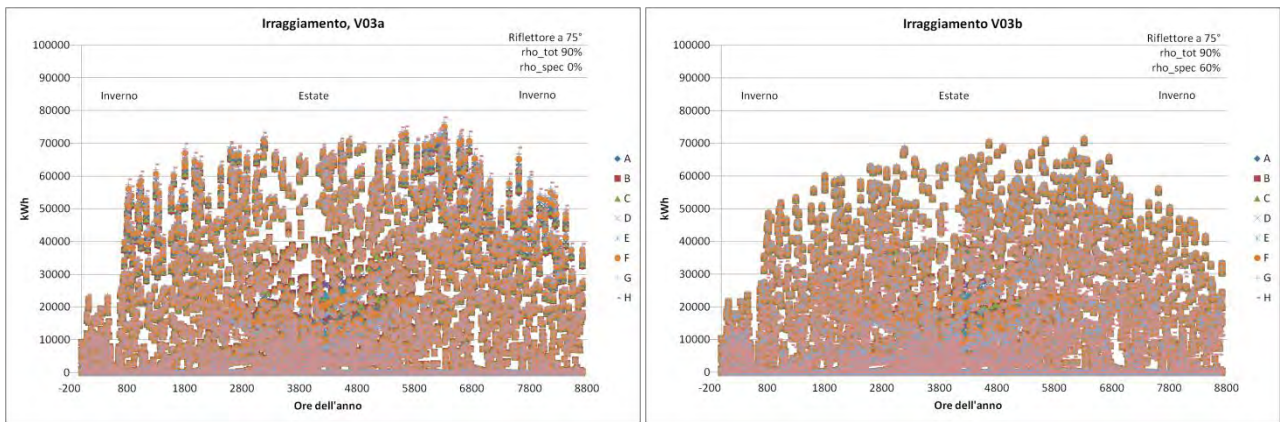


Figura 14: Rappresentazione dell'irraggiamento per la soluzione V02a

4.3 Terza variante



La variante V03 rappresenta la soluzione migliore in termini di Irraggiamento globale sul piano dei moduli. L'ombreggiamento tra i moduli è ridotto al minimo.

Anche in questo caso la soluzione migliore risulta la V03a con 18'090 kWh. Vista la distanza relativa tra i moduli, sono da scartare le soluzioni V03b e V03c (che hanno una componente speculare diretta).

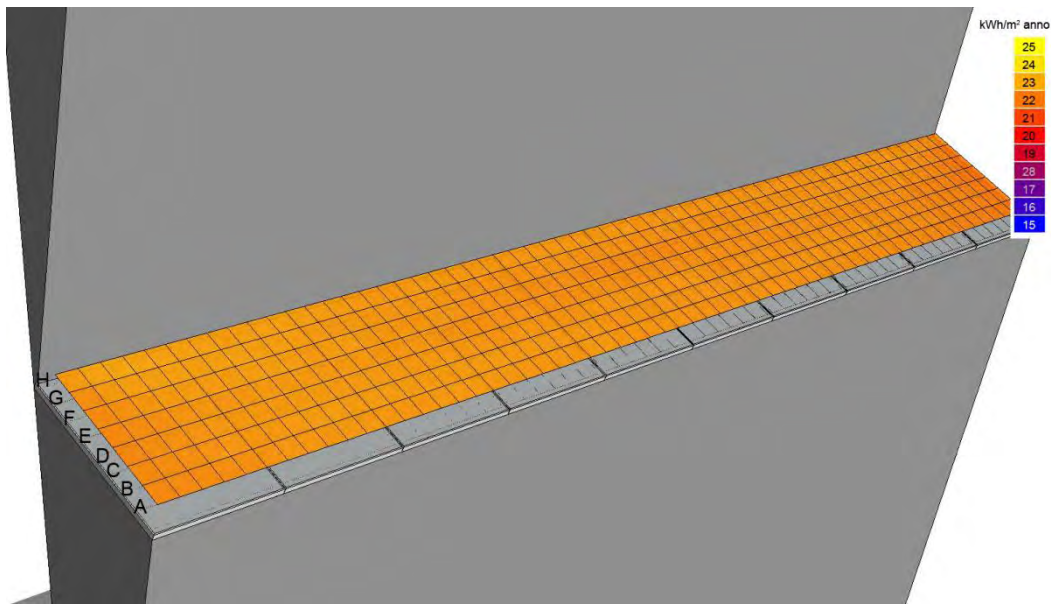


Figura 15: Rappresentazione dell'irraggiamento per la soluzione V03a

5 Conclusioni

Per il calcolo del numero dei moduli necessari per raggiungere una produzione di 3'000kWh (3×10^3 kWh) o di 10'000kWh (10×10^3 kWh) è stata considerata una potenza del modulo di 200Wp e quindi una efficienza del 15% circa ed è stato supposto un PR del sistema dell'85%.

Tabella 2: I principali risultati sono stati raccolti in questa tabella in modo da poter confrontare le tre varianti tra di loro e rispetto la soluzione di riferimento in facciata.

	Irraggiamento medio		Differenza	Numero moduli		Numero serie	Area moduli	Area Facciata	Diff Superficie	kWp installati	Diff Potenza		
	sul modulo	su 10 moduli		x 3×10^3 kWh	x 10×10^3 kWh								x 10×10^3 kWh
	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[%]									
V01	1117	1502	15'018	23%	16	52	5.2	70.2	90.6	-11%	10.44	-19%	
	1079	1450	14'505	19%	16	54	5.4	72.7	94.2	-7%	10.81	-16%	
	1048	1409	14'086	16%	17	56	5.6	74.9	97.4	-4%	11.14	-13%	
	1031	1386	13'861	14%	17	57	5.7	76.1	99.2	-2%	11.32	-12%	
V02	1245	1673	16'732	37%	14	47	4.7	63.0	115.1	14%	9.37	-27%	Best
	1217	1636	16'359	34%	14	48	4.8	64.5	118.3	17%	9.59	-25%	
	1183	1590	15'900	30%	15	49	4.9	66.3	122.3	21%	9.87	-23%	
	1156	1554	15'537	27%	15	50	5.0	67.9	125.7	24%	10.10	-22%	
V03	1346	1809	18'090	48%	13	43	4.3	58.3	187.7	85%	8.67	-33%	
	1304	1753	17'529	44%	13	45	4.5	60.1	195.2	93%	8.95	-30%	
	1268	1704	17'042	40%	14	46	4.6	61.9	202.1	100%	9.20	-28%	
	1268	1705	17'046	40%	14	46	4.6	61.9	202.1	99%	9.20	-28%	
Facciata	907	1219	12'192	0%	19	64	6.4	86.5	101.3	0%	12.87	0%	Rif

La tabella precedente permette di confrontare le diverse simulazioni effettuate con il sistema Solar Retrofit, nelle sue varianti, con un sistema di riferimento verticale in facciata (Rif). Come discusso precedentemente all'interno delle singole varianti possiamo vedere come la variante migliore in termini di massimo irraggiamento è la V03. Grazie alla grande distanza tra una serie di moduli e la sottostante, le ombre portate sono minimizzate. Questo però va a discapito della compattezza dell'impianto. Per ottenere una produzione annua di 10'000kWh sono necessari circa 187m² di facciata per un totale di 43 moduli. La situazione più compatta invece, la variante V01a, necessita invece di circa 90m² per un totale però di 52 moduli fotovoltaici. Possiamo quindi affermare che la soluzione intermedia V02a (superficie perfettamente diffondente $Rho_{tot}=90\%$, $Rho_{dif}=100\%$, $Rho_{spec}=0\%$), dove i moduli distano tra loro circa 2m, garantisce un ottimale bilancio tra numero di moduli, energia prodotta e superficie necessaria. Per garantire i 10'000kWh annui sono così necessari 47 moduli (disposti in 4,7 stringhe da 10moduli ognuna) per un totale di 115m² di facciata.

Considerando invece la variante di riferimento che considera i moduli installati verticalmente sulla facciata per raggiungere i 10'000kWh annui si hanno bisogno solo 101m² di parete ma una potenza installata di circa 12,9kWp ovvero di 64 moduli fotovoltaici da 200W.

Le presenti simulazioni sono state effettuate per valutare in prima analisi l'effetto di un riflettore con diverse finiture (diverse riflessioni). Non è stato simulato il modulo Fotovoltaico nella sua complessità elettrica (è stata fatta una semplificazione per valutare la resa energetica ed elettrica del sistema, efficienza 15% e PR 85%).

Le analisi sono state effettuate solo per Lugano. I risultati potrebbero cambiare per meteo differenti.

Non è stata fatta alcuna ottimizzazione del design del riflettore o del modulo. I moduli sono stati orientati a 30° rispetto al piano e non è stato valutata una configurazione differente.

ISAAC, Istituto di Sostenibilità Applicata all'Ambiente Costruito
Centro svizzero di Competenza BiPV

Dr. Ing. Francesco Frontini



Viale Verbano, 7
6602 Locarno-Muralto - CH
lanteri.e@solar-retrofit.it
www.solar-retrofit.it

Mob. +39 335 69 71 695
Tel. +39 0323 40 32 34
Tel. +41 (0)91 751 96 41
Fax +41 (0)91 751 52 21

