

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN
 IMPIANTO AGROVOLTAICO DENOMINATO
"LIMONE"

SITO NEL COMUNE DI
 RAMACCA (CT); MINEO (CT); AIDONE (EN)
 SP37 – SP103 – SP182

**ANALISI ALTERNATIVE DI PROGETTO IN
 ORDINE AI POSSIBILI IMPATTI SULLE
 COMPONENTI AMBIENTALI**

COMMITTENTE:

NEREIDI S.R.L.

Viale Santa Panagia, 141/D, 96100, Siracusa (SR)

IL TECNICO

Crucillà Vincenzo

CODICE

MITEPUARELO19A0

REVISIONE:

00

DATA ELABORATO:

11/07/2022



A circular blue professional stamp of an architect/engineer from Siracusa, with the name 'Vincenzo Crucillà' written in cursive over it.

Sommario

1.	Premessa.....	3
2.	Tecnologia dei moduli fotovoltaici utilizzati	3
3.	Vantaggi nella scelta di moduli fotovoltaici monocristallini bifacciali	5
4.	Sistemi fotovoltaici con tensione massima 1500 V dc	8
5.	Strutture di supporto dei moduli fotovoltaici: tecnologie a confronto	8
6.	Conclusioni sulla scelta delle strutture di supporto dei moduli fotovoltaici ..	15
7.	Conclusioni	16

1. Premessa

La presente iniziativa si inquadra nel piano di sviluppo e realizzazione di impianti per la produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica dell'energia solare che la società **NINA SOLAR S.r.l.**, intende realizzare nella **Regione Sicilia**. L'impianto concorre al soddisfacimento delle esigenze di energia pulita e sviluppo sostenibile sancite dal Protocollo internazionale di Kyoto del 1997 e delle Direttive Europee da questo scaturite.

La presente relazione tecnica ha come obiettivo quello di fornire un'approfondita e dettagliata analisi delle alternative di progetto, con particolare riferimento agli aspetti tecnologici, costruttivi e dimensionali. Su questo aspetto è stata effettuata una specifica analisi in merito alle soluzioni impiantistiche in ordine ai possibili impatti sulle componenti ambientali. La scelta della migliore alternativa è stata valutata sotto il profilo dell'impatto ambientale, relativamente alle singole tematiche ambientali ed alle loro interazioni, al fine di confrontare in termini qualitativi e quantitativi la sostenibilità di ogni alternativa proposta. Nella scelta dell'alternativa ragionevole più sostenibile dal punto di vista ambientale, sono stati considerati in particolare gli aspetti relativi al consumo di suolo, paesaggio, vegetazione e fauna.

2. Tecnologia dei moduli fotovoltaici utilizzati

Oggi il panorama del fotovoltaico è dominato da tre tecnologie:

- pannelli in silicio monocristallino;
- pannelli in silicio policristallino;
- pannelli a film sottile (silicio amorfo).

Le tecnologie fotovoltaiche sono in continua evoluzione, alla ricerca di materiali sempre più efficienti, economici ed eco-compatibili. Tuttavia queste tecnologie alternative sono ancora in una fase sperimentale (fotovoltaico organico) o comunque non hanno raggiunto una maturità tale da giustificare l'impiego per un progetto quale quello considerato (celle al Telluro di Cadmio (CdTe), Diseleniuro di Indio Rame (CIS), Diseleniuro di Indio Rame Gallio (CIGS), Arseniuro di Gallio (GaAs) etc...). Inoltre, in conseguenza delle basse efficienze raggiunte, l'impatto sul consumo di suolo, a parità di potenza installata, sarebbe non sostenibile.

Pertanto si è optato per la tecnologia di moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, che presenta, allo stato attuale, le migliori prestazioni in termini di efficienza, che si traduce in minore superficie necessaria a parità di potenza. Questo risultato è dovuto principalmente alle loro celle, costruite appositamente con un grado di purezza del silicio molto elevato. Inoltre la conformazione di questi pannelli, caratterizzati da un unico cristallo a formare la trama

delle varie celle, favorisce una maggiore dispersione. Di contro i pannelli in silicio monocristallino sono, per le specifiche costruttive richieste, i più costosi presenti sul mercato. Inoltre la resa diminuisce all'aumentare della temperatura della superficie.

tecnologia	Efficienza [%]	superficie [m²/kW]
monocristallino	18%-20%	6
policristallino	16%-18%	8
film sottile	6%-8%	20

I pannelli monocristallini attualmente in commercio sono di due tipi: monofacciali e bifacciali. I pannelli monofacciali (gli unici in commercio fino a qualche anno fa) sono solitamente racchiusi in un vetro sulla parte anteriore ed un incapsulante opaco sul retro costituito da un materiale polimerico protettivo.

I moduli fotovoltaici bifacciali sono pannelli solari monocristallini, emersi negli ultimi anni sul mercato, che possono ricevere e produrre energia non solo dal lato frontale, ma anche da quello retrostante, che dunque è trasparente. I moduli bifacciali sono costituiti pertanto da celle attive su entrambi i lati. Quindi, sono in grado di generare elettricità pure dalla luce ambientale proveniente da dietro al pannello, cioè che è riflessa dalle superfici circostanti, producendo di conseguenza più energia rispetto ai pannelli monofacciali tradizionali. Per massimizzare l'efficacia di questi pannelli, conviene montare il tutto su una struttura con inseguimento monoassiale. In tal modo, si ha dal 5% al 20% in più di energia prodotta rispetto ai pannelli monofacciali, a seconda del tipo di struttura utilizzato (altezza dal suolo, angolo di tilt, etc...) e del quantitativo di luce indirizzato sul retro del pannello bifacciale (albedo della superficie del terreno circostante).

I parametri che caratterizzano un modulo bifacciale sono:

- **fattore bifacciale:** rapporto tra efficienza lato posteriore e lato anteriore, o rapporto fra la potenza anteriore e posteriore misurata in condizioni di test standard;
- **guadagno bifacciale:** potenza aggiuntiva ottenuta dal retro del modulo rispetto alla potenza della parte anteriore del modulo in condizioni di test standard. Il guadagno bifacciale dipende dal montaggio (struttura, altezza, angolo di inclinazione etc..) e dall'albedo della superficie del terreno.

3. Vantaggi nella scelta di moduli fotovoltaici monocristallini bifacciali

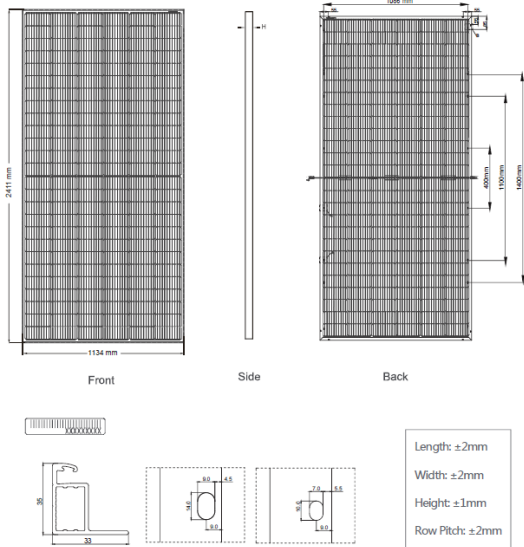
I vantaggi nell'impiego di moduli bifacciali sono i seguenti:

- prestazioni migliori del modulo: poiché anche il lato posteriore del modulo è in grado di catturare la luce solare, è possibile ottenere un notevole incremento nella produzione di energia lungo tutta la vita utile del sistema. Ricerche sul campo mostrano che un impianto FV che impiega moduli bifacciali può arrivare a produrre fino al 20% in più, rispetto ad un impianto con moduli cristallini tradizionali di pari potenza;
- maggiore durabilità: il lato posteriore del modulo è dotato di uno strato di vetro aggiuntivo (modulo vetro-vetro), per consentire alla luce di essere captata anche dal retro della cella. Questo conferisce al modulo caratteristiche di maggiore rigidità, fattore che riduce al minimo lo stress meccanico a carico delle celle, dovuto al trasporto ed all'installazione o a fattori ambientali esterni come carico vento. Ciò si traduce in minore necessità di sostituzione/smaltimento/riciclo di moduli durante la vita utile dell'impianto;
- riduzione costi del BOS e consumo di suolo: il modulo bifacciale permette di aumentare l'efficienza del modulo e la densità di potenza, rendendo possibile la riduzione dell'area di installazione ed il consumo di suolo, oltre che i costi relativi al montaggio e cablaggio del sistema (strutture di supporto, cavi, etc...);
- riduzione della radiazione solare riflessa dal suolo, perché assorbita dai moduli, con minore impatto sulla avifauna;

tecnologia	efficienza [%]	superficie [m²/kW]
monofacciale	18%-20%	6
bifacciale (max gain)	24%-25%	4,8

L'impiego di moduli bifacciali vetro-vetro tipo Jinko Solar JKM 580M-7RL4-V 580 Wp e tipo Trina Solar TSM-DEG19 555 Wp utilizzati per il progetto LIMONE mostra un riduzione del BOS (Balance of System) fra il 6% e l'8% e riduzione del costo di produzione dell'energia elettrica LCOE (Levelized Cost of Electricity) dal 3% al 4%, nel confronto con moduli di moduli tradizionali da 400 Wp, a parità di potenza di impianto. Dai dati appare che il consumo di suolo nella scelta di questo tipo di tecnologia, è ridotto dall'11% al 27%, in funzione del guadagno bifacciale, rispetto all'impiego di moduli da 400 Wp monofacciali.

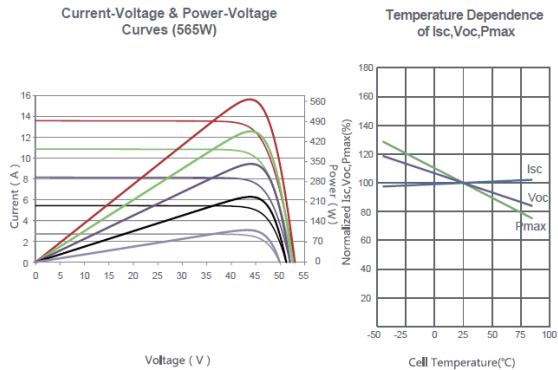
Engineering Drawings



Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)
31pcs/pallets, 62pcs/stack, 496pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2x78)
Dimensions	2411x1134x35mm (94.92x44.65x1.38 inch)
Weight	31.1 kg (68.6 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm ² (+): 290mm, (-): 145mm or Customized Length

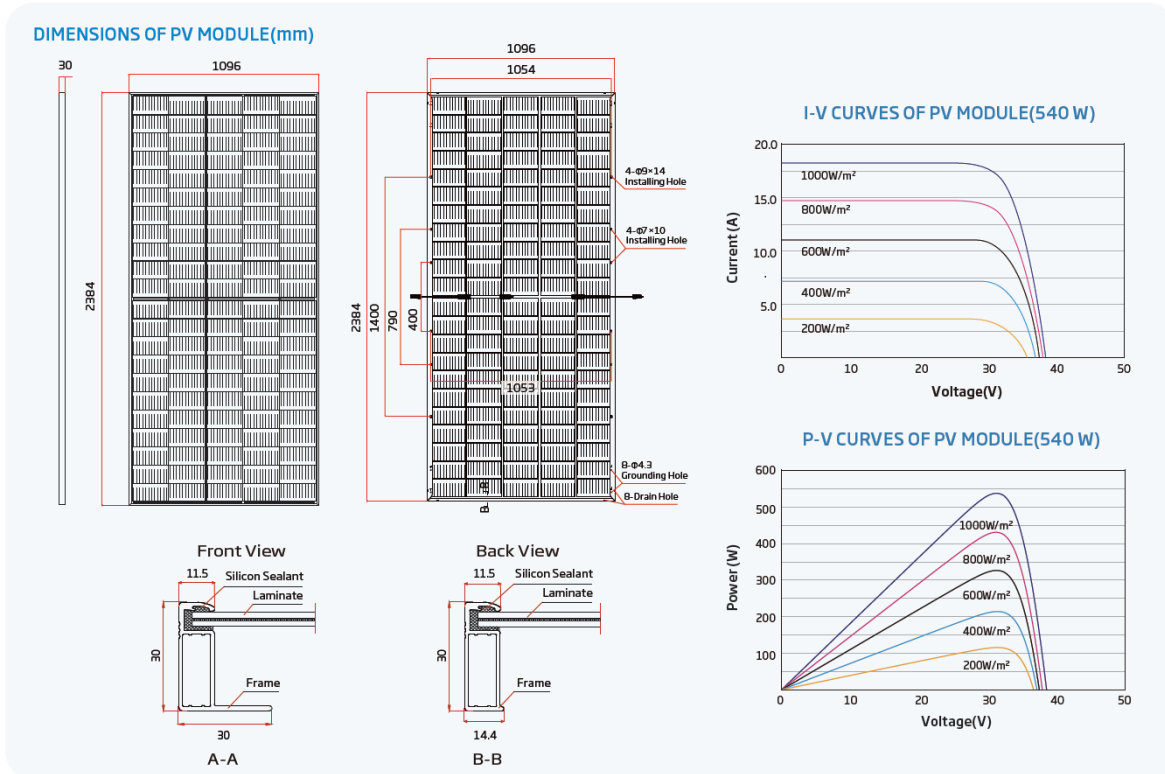
SPECIFICATIONS

Module Type	JKM560M-7RL4-TV		JKM565M-7RL4-TV		JKM570M-7RL4-TV		JKM575M-7RL4-TV		JKM580M-7RL4-TV	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	560Wp	417Wp	565Wp	420Wp	570Wp	424Wp	575Wp	428Wp	580Wp	432Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	43.65V	40.63V	43.77V	40.74V	43.89V	40.85V	44.00V	40.96V	44.11V	41.07V
Maximum Power Current (Imp)	12.83A	10.26A	12.91A	10.32A	12.99A	10.38A	13.07A	10.44A	13.15A	10.51A
Open-circuit Voltage (Voc)	52.85V	49.88V	52.97V	50.00V	53.09V	50.11V	53.20V	50.21V	53.31V	50.32V
Short-circuit Current (Isc)	13.51A	10.91A	13.59A	10.98A	13.67A	11.04A	13.75A	11.11A	13.83A	11.17A
Module Efficiency STC (%)	20.48%		20.67%		20.85%		21.03%		21.21%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									
Refer. Bifacial Factor	70±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN

		588Wp	593Wp	599Wp	604Wp	609Wp
5%	Maximum Power (Pmax)	588Wp	593Wp	599Wp	604Wp	609Wp
	Module Efficiency STC (%)	21.51%	21.70%	21.89%	22.08%	22.27%
15%	Maximum Power (Pmax)	644Wp	650Wp	656Wp	661Wp	667Wp
	Module Efficiency STC (%)	23.55%	23.76%	23.98%	24.19%	24.40%
25%	Maximum Power (Pmax)	700Wp	706Wp	713Wp	719Wp	725Wp
	Module Efficiency STC (%)	25.60%	25.83%	26.06%	26.29%	26.52%

Figura 1 – Estratto scheda tecnica moduli Jinko Solar



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts - P _{MAX} (Wp)*	535	540	545	550	555
Power Tolerance - P _{MAX} (W)			0 ~ +5		
Maximum Power Voltage - V _{MPP} (V)	31.2	31.4	31.6	31.8	32.0
Maximum Power Current - I _{MPP} (A)	17.16	17.21	17.24	17.29	17.35
Open Circuit Voltage - V _{OC} (V)	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3
Short Circuit Current - I _{SC} (A)	18.24	18.30	18.35	18.39	18.43
Module Efficiency η_m (%)	20.5	20.7	20.9	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. *Measuring tolerance: ±3%.

Electrical characteristics with different power bin (reference to 10% Irradiance ratio)

Total Equivalent power - P _{MAX} (Wp)	573	578	583	589	594
Maximum Power Voltage - V _{MPP} (V)	31.2	31.4	31.6	31.8	32.0
Maximum Power Current - I _{MPP} (A)	18.36	18.41	18.45	18.50	18.56
Open Circuit Voltage - V _{OC} (V)	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3
Short Circuit Current - I _{SC} (A)	19.52	19.58	19.63	19.68	19.72
Irradiance ratio (rear/front)			10%		

Power Bifaciality 70±5%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power - P _{MAX} (Wp)	405	409	413	416	420
Maximum Power Voltage - V _{MPP} (V)	29.0	29.2	29.4	29.5	29.7
Maximum Power Current - I _{MPP} (A)	13.97	14.02	14.08	14.10	14.14
Open Circuit Voltage - V _{OC} (V)	35.3	35.5	35.7	35.9	36.1
Short Circuit Current - I _{SC} (A)	14.70	14.75	14.79	14.82	14.85

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	110 cells
Module Dimensions	2384 x 1096 x 30 mm (93.86 x 43.15 x 1.18 inches)
Weight	32.3 kg (71.2 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	EVA/POE
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)
Frame	30mm(1.18 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: 350/280 mm(13.78/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EV02 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P _{MAX}	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of V _{OC}	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of I _{SC}	0.04%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC) 1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	35A

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
30 year Power Warranty
2% first year degradation
0.45% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 36 pieces
Modules per 40' container: 720 pieces

Figura 1 – Estratto scheda tecnica moduli Trina Solar

4. Sistemi fotovoltaici con tensione massima 1500 V dc

La progettazione di sistemi fotovoltaici di nuova concezione ha come obiettivo principale quello di aumentare la produttività e ridurre i costi di investimento, di gestione e di dismissione, con conseguente minore impatto anche sull'ambiente. Una tra le migliori apportate negli ultimi anni alla componentistica principale degli impianti fotovoltaici, è l'incremento della tensione massima di esercizio di moduli ed inverter da 1000 V DC a 1500 V DC. Questo cambiamento permette a parità di potenza, la riduzione della corrente erogata, con conseguente riduzione della sezione dei cavi e quindi di quantità di materiale conduttore necessario a trasportare la stessa quantità di energia; in aggiunta vi sarà anche una riduzione di quantitativi di componenti in bassa tensione necessari al funzionamento dell'impianto quali connettori, string box etc.... Questo determina sia una riduzione dei costi di impianto, che anche una riduzione di impatto sull'ambiente in quanto una minore quantità di materiale conduttore necessario per il trasporto dell'energia, determina anche una riduzione di (i) quantitativo di scavi, (ii) consumo di materia prima intesa come conduttore di energia, (iii) e quindi anche una riduzione di materiali da smaltire in fase di dismissione.

Pertanto in fase di progettazione dell'impianto Limone si è deciso di optare per moduli, inverter e componenti che rientrano in questi criteri. In particolare si è optato per realizzare una configurazione di impianto lato dc tale che le stringhe che compongono il campo fotovoltaico siano mediamente costituite da n. 34 moduli in serie per i moduli da 555 W Trina Solar e da n.26 moduli in serie per i moduli da 580 W Jinko Solar, con una tensione lato DC nell'intorno dei 1500 V.

5. Strutture di supporto dei moduli fotovoltaici: tecnologie a confronto

Al fine di aumentare la producibilità dell'impianto e ridurre, a parità di potenza, il consumo di suolo, si ritiene opportuno utilizzare, ove possibile, al posto di strutture di supporto fisse, comunemente adottate fino ad oggi per gli impianti "utility scale", dei sistemi di supporto ad inseguimento. Le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici, sono ad oggi suddivise in due grandi categorie: (i) sistema fisso, (ii) sistema ad inseguimento.

Di seguito saranno messe a confronto le varie tecnologie tutt'oggi presenti sul mercato.

Il sistema fisso è costituito da strutture di supporto con telaio metallico che presentano una inclinazione fissa (generalmente intorno a 30°) sono rivolte verso il sud (azimut 0°).

Il sistema ad inseguimento può essere suddiviso in due macrocategorie: (i) sistema ad inseguimento monoassiale e (ii) sistema ad inseguimento biassiale.

I sistemi ad inseguimento monoassiale, essendo dispositivi che "inseguono" il sole ruotando attorno a un solo asse, possono, a seconda dell'orientazione di tale asse, essere ulteriormente distinti in quattro tipologie:

- **inseguitori di tilt:** ruotano attorno all'asse est-ovest e sono gli inseguitori solari più semplici. Poiché normalmente i pannelli solari sono orientati verso sud, in questo caso si deve aumentare o diminuire l'inclinazione del pannello rispetto al terreno di un piccolo angolo, in modo tale che l'angolo rispetto al suolo, detto angolo di tilt sia statisticamente ottimale rispetto alla stagione. Questa operazione viene di solito eseguita manualmente due volte l'anno, grazie a una montatura apposita che permette di abbassare o sollevare a mano i pannelli rispetto all'orizzonte: poiché l'incremento nella produzione di energia offerto da questo tipo di inseguitori non supera il 10%, raramente sarebbe giustificato l'impiego di un servomeccanismo.



Figura 2 – Inseguitori monoassiali di “tilt”

- **inseguitori di rollio:** sono dispositivi che, con l'ausilio di servomeccanismi, inseguono il Sole lungo il suo percorso quotidiano nel cielo, a prescindere dalla stagione, e dunque ruotando ogni giorno lungo un asse nord-sud parallelo al suolo, ignorando la variazione di altezza (giornaliera ed annua) del Sole sull'orizzonte. Tale tipo di inseguitore, che effettua una rotazione massima di +/-60°, risulta particolarmente adatto per i Paesi come l'Italia caratterizzati da basse latitudini, poiché in essi il percorso apparente del

Sole è più ampio. Per evitare il problema degli ombreggiamenti reciproci che con file di questi inseguitori si verificherebbero all'alba e al tramonto, viene impiegata la cosiddetta tecnica del backtracking: i moduli seguono il movimento del Sole solo nelle ore centrali del giorno, invertendo il movimento a ridosso dell'alba e del tramonto, quando raggiungono un allineamento perfettamente orizzontale. L'incremento nella produzione di energia offerto tali inseguitori si colloca all'interno di un intervallo compreso tra il 15% ed il 20%.



Figura 3 - Inseguitori monoassiali di "rollio"

- **inseguitori di azimut:** ruotano intorno a un asse verticale perpendicolare al suolo. Perciò i pannelli sono montati su una base rotante complanare al terreno che, tramite un servomeccanismo, segue il movimento del sole da est a ovest durante il giorno ma, a differenza degli inseguitori di tilt e di rollio, senza mai variare l'inclinazione del pannello rispetto al suolo. Ovviamente, gli inseguitori di azimut normalmente hanno i pannelli solari inclinati di un certo angolo rispetto all'asse di rotazione. I progetti che utilizzano questo tipo di inseguitori devono tener opportunamente conto degli ombreggiamenti per evitare perdite di energia e per ottimizzare l'utilizzo del terreno. Tuttavia, l'ottimizzazione in caso di raggruppamento ravvicinato è limitata a causa della natura delle ombre che si creano nel corso dell'anno, perciò sono adatti, sostanzialmente, quando si abbiano a disposizione degli spazi estremamente ampi. L'incremento nella produzione di energia offerto da questo tipo di inseguitori si colloca all'interno di un intervallo compreso tra il 20% ed il 25%.



Figura 41 - Inseguitori monoassiali di "azimut"

- **inseguitori ad asse polare:** ruotano, con l'ausilio di un servomeccanismo, intorno a un asse parallelo all'asse nord-sud di rotazione terrestre (asse polare), e dunque inclinato rispetto al suolo. Si noti che negli inseguitori di rollio l'asse di rotazione è ugualmente orientato in direzione nord-sud ma esso (ed i pannelli) è parallelo al suolo, e non all'asse terrestre. Negli inseguitori a asse polare, invece, l'asse di rotazione è inclinato rispetto al suolo per poter essere circa parallelo all'asse di rotazione terrestre. L'asse di rotazione di tali inseguitori, quindi, è simile a quello attorno al quale il sole disegna la propria traiettoria nel cielo, ma non uguale, a causa delle variazioni dell'altezza del sole nel cielo nelle varie stagioni. Gli inseguitori ad asse polare, dunque, riescono a tenere i pannelli solari all'incirca perpendicolari rispetto al sole durante tutto l'arco della giornata (trascurando le suddette oscillazioni di altezza stagionali) e danno la massima efficienza che si possa ottenere con un solo asse di rotazione (con potenziali punte del 30%).



Figura 5 - Inseguitori monoassiali ad "asse polare"

Gli inseguitori fotovoltaici **biassiali**, a differenza di quelli monoassiali, hanno due assi di rotazione, di cui uno principale ed uno secondario, solitamente perpendicolari fra loro. Grazie ad essi, e con l'ausilio di una strumentazione elettronica più sofisticata rispetto al sistema ad inseguimento monoassiale, è possibile puntare precisamente, ed in tempo reale, i moduli fotovoltaici verso il sole, via via che lo stesso si sposta sulla volta celeste, e, di conseguenza, seguirne il moto diurno, massimizzando l'efficienza dei moduli fotovoltaici. Questi sistemi possono avere un incremento della produzione di energia del 35-40% rispetto agli impianti con sistema di strutture di supporto fisse dei moduli fotovoltaici, e dunque di almeno il 5% in più rispetto ai più efficienti sistemi ad inseguimento monoassiale, a fronte però di una complessità costruttiva decisamente maggiore. Esistono due tipi di inseguitori biassiali molto comuni, i quali si differenziano per la diversa orientazione degli assi di rotazione della montatura:

- **inseguitori biassiali azimut-elevazione:** inseguono il sole assistiti da un computer

il quale calcola la posizione prevista nel cielo oppure da un sensore di luce che controlla i motori, hanno il loro asse di rotazione principale verticale rispetto al terreno, e quello secondario perpendicolare ad esso. Questa sistema di montaggio (detto "altazimutale"), permette di puntare, con l'ausilio di elettronica molto sofisticata, qualsiasi punto del cielo. Le strutture di questi sistemi di inseguimento sono molto grandi e di questo di deve tener conto durante la progettazione, soprattutto in riferimento alla stima dell'uso del suolo correlata alla valutazione degli ombreggiamenti, al fine di evitare consistenti perdite di energia.



Figura 6 - Inseguitore biassiale "azimut-elevazione"

- **inseguitori biassiali tilt-rollio:** hanno l'asse principale parallelo al suolo, mentre quello secondario è normalmente perpendicolare all'asse primario. I posti disponibili alle estremità dell'asse primario possono essere condivisi con più gruppi di pannelli, permettendo costi di installazione più bassi. Per evitare il problema degli ombreggiamenti reciproci che con file di questi inseguitori si verificherebbero all'alba e al tramonto, viene impiegata la cosiddetta tecnica del *backtracking*: i moduli seguono il movimento del Sole ruotando lungo l'asse di rollio solo nelle ore centrali del giorno, invertendo il movimento a ridosso dell'alba e del tramonto.



Figura 7 - Inseguitore biassiale "tilt – rollio"

Tecnologia	Irraggiamento solare	consumo di suolo	presenza fondazioni in cemento armato	altezza massima strutture
-	[kWh/m ²]	[ha/MW]	-	[m]
sistema fisso	2000	1,3	pali infissi a terra con o senza calcestruzzo o blocchi in cemento poggiati a terra	3,5
sistema ad inseguimento monoassiale di "tilt"	2200	1,5	plinti in cemento armato	4,5
sistema ad inseguimento monoassiale di "rollio"	2350	1,6	pali infissi a terra con o senza calcestruzzo	4,5

sistema ad inseguimento monoassiale di "azimut"	2450	2	plinti in cemento armato	5,5
sistema ad inseguimento monoassiale ad "asse polare"	2550	1,8	plinti ini cemento armato o blocco di cemento esterno poggiato a terra	5
sistema ad inseguimento binoassiale di "azimut-elevazione"	2700	3,5	plinti di fondazione in cemento armato	6
sistema ad inseguimento biassiale di "tilt-rollio"	2700	4	plinti di fondazione in cemento armato	6

6. Conclusioni sulla scelta delle strutture di supporto dei moduli fotovoltaici

In conclusione gli inseguitori monoassiali permettono di conseguire un incremento nella produzione di energia compreso fra il quasi 10% dei semplici inseguitori di tilt ed il 30% degli inseguitori ad asse polare. Pur essendo quelli più efficienti, gli inseguitori ad asse polare sono tuttavia raramente utilizzati a causa dell'elevato profilo esposto al vento. Gli un po' meno efficienti inseguitori di azimut necessitano, da parte loro, di spazi relativamente ampi per evitare il problema degli ombreggiamenti, che invece nel caso degli inseguitori di rollio è stato risolto con la tecnica del backtracking. Gli inseguitori di tilt, infine, non hanno questo tipo di problema e presentano il vantaggio di essere particolarmente economici non avendo servomeccanismi, tuttavia l'aumento di producibilità è limitato e richiedono l'intervento diretto dell'operatore due volte l'anno, per variare l'inclinazione rispetto al suolo, che per impianti di grandi dimensioni può essere abbastanza oneroso.

Pertanto, per coniugare le esigenze di aumento della producibilità, limite nel consumo di suolo ed impatto sull'area di impianto, si ritiene che il miglior compromesso sia di adottare, ove possibile, un sistema ad inseguimento monoassiale del tipo a rollio con asse di rotazione in direzione nord-sud ed angolo di tracking $-55^{\circ}/+55^{\circ}$, con tecnologia backtracking. Il tipo di sistema consente un aumento di producibilità rispetto al sistema fisso di circa il 20%. Grazie alla tecnologia backtracking, il consumo di suolo è notevolmente ridotto rispetto alle altre

tipologie di inseguitori (fisso, azimut ed asse polare). Inoltre le strutture sono fissate al suolo mediante pali infissi (senza o con ridotto impiego di calcestruzzo in funzione della tipologia di suolo) quindi con fondazioni meno impattanti sull'area di impianto rispetto ai sistemi monoassiali di azimut e ad asse polare e rispetto agli inseguitori biassiali, che necessitano, al contrario, di opere di fondazioni in cemento armato, anche di notevole consistenza, a causa dei grandi profili esposti al vento. In ultimo le altezze massime (raggiunte all'alba e al tramonto, quando l'angolo di rotazione è massimo), sono dell'ordine di 4,50 m, nettamente inferiori rispetto ad altre tipologie, come i sistemi monoassiali ad asse polare o a inseguitore di azimut o i sistemi biassiali.

Per le aree geomorfologicamente non idonee alla installazione di questa tipologia di sistema, si utilizzeranno sistemi a strutture fisse. Le strutture fisse sono parzialmente presenti nei campi LIMONE 3, LIMONE 8, LIMONE 10, LIMONE 11. La percentuale, in termini di potenza, del sistema fisso è pari al 13,41% della potenza totale installata.

7. Conclusioni

La attenta analisi degli aspetti tecnologici, relativi alla tipologia di moduli utilizzati (tipologia di celle, tipologia di moduli, tensione massima di sistema) ed agli aspetti costruttivi (sistemi di supporto dei moduli) ed il loro impatto sugli aspetti ambientali, ha orientato le scelte progettuali verso tecnologie che presentino il minor fabbisogno di superficie a parità di potenza e il minor impatto sull'area in termini di interazione con il suolo e la vegetazione circostante:

- **tecnologia celle fotovoltaiche:** si è optato per la tecnologia di moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, che presenta, allo stato attuale, le migliori prestazioni in termini di efficienza, che si traduce in minore superficie necessaria a parità di potenza;
- **utilizzo di moduli bifacciali (vetro-vetro) da 580 Wp e da 555 Wp:** il modulo bifacciale permette di aumentare l'efficienza del modulo e la densità di potenza, rendendo possibile la riduzione dell'area di installazione ed il consumo di suolo, oltre che i costi relativi al montaggio e cablaggio del sistema (strutture di supporto, BOS, cavi, etc...).
- **tensione massima di sistema 1500 V dc:** l'incremento della tensione massima di esercizio di moduli ed inverter da 1000 V dc a 1500 V dc offre l'opportunità di ridurre il costo dell'impianto, in quanto, a parità di potenza, la corrente erogata dai moduli diminuisce riducendo il numero di componenti in BT (connettori, string box etc...) ed il

cablaggio totale necessario. Il sistema risulta inoltre più efficiente lato dc in quanto le perdite ohmiche sono minori, con minore impatto sull'ambiente e sul consumo di materie prime (rame etc...)

- **sistema di supporto moduli ad inseguimento monoassiale (ove possibile in base alla morfologia del terreno):** per coniugare le esigenze di aumento della producibilità, limite nel consumo di suolo ed impatto sull'area di impianto, si ritiene che il miglior compromesso sia di adottare un sistema ad inseguimento monoassiale del tipo a rollio con asse di rotazione in direzione nord-sud ed angolo di tracking -55°/+55°, con tecnologia backtracking. Il tipo di sistema consente un aumento di producibilità rispetto al sistema fisso di circa il 20%. Grazie alla tecnologia backtracking, il consumo di suolo è notevolmente ridotto rispetto alle altre tipologie di inseguitori (fisso, azimut ed asse polare). Inoltre le strutture sono fissate al suolo mediante pali infissi (senza o con ridotto impiego di calcestruzzo in funzione della tipologia di suolo) quindi con fondazioni meno impattanti sull'area di impianto rispetto ai sistemi monoassiali di azimut e ad asse polare e rispetto agli inseguitori biassiali, che necessitano, al contrario, di opere di fondazioni in cemento armato, anche di notevole consistenza, a causa dei grandi profili esposti al vento. In ultimo le altezze massime (raggiunte all'alba e al tramonto, quando l'angolo di rotazione è massimo), sono dell'ordine di 4,50 m, nettamente inferiori rispetto ad altre tipologie, come i sistemi monoassiali ad asse polare o a inseguitore di azimut o i sistemi biassiali. Per le aree geomorfologicamente non idonee alla installazione di questa tipologia di sistema, si utilizzeranno sistemi a strutture fisse. La percentuale, in termini di potenza, del sistema fisso è pari al 13,41% della potenza totale installata.