

IMPIANTO FOTOVOLTAICO “GR MACOMER”

- COMUNE DI MACOMER (NU) -



OGGETTO

PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO

RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA

PROGETTAZIONE

I.A.T. CONSULENZA E PROGETTI S.R.L.
ING. GIUSEPPE FRONGIA

Gruppo di lavoro:

Ing. Giuseppe Frongia
(coordinatore e responsabile)
Ing. Marianna Barbarino
Ing. Enrica Batzella
Dott. Pian. Terr. Andrea Cappai
Ing. Antonio Dedoni
(Archeologia)
Dott. Geol. Maria Francesca Lobina
Agr. Dott. Nat. Nicola Manis
Dott. Nat. Maurizio Medda
Ing. Gianluca Melis
Dott. Geol. Mauro Pompei
Dott. Pian. Terr. Eleonora Re
Ing. Elisa Roych
Dott. Nat. Fabio Schirru
Dott. Matteo Tatti

Cod. pratica 2022/0305

Nome File: **GREN-FVM-RP1**_Relazione tecnica descrittiva.docx

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEG.	CONTR.	APPR.
0	20/10/2022	Emissione per procedura di VIA	IAT	GF	GREN

Disegni, calcoli, specifiche e tutte le altre informazioni contenute nel presente documento sono di proprietà della I.A.T. Consulenza e progetti s.r.l. Al ricevimento di questo documento la stessa diffida pertanto di riprodurlo, in tutto o in parte, e di rivelarne il contenuto in assenza di esplicita autorizzazione.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 1 di 84	

INDICE

1	PREMESSA GENERALE	4
2	DATI DEL PROPONENTE E CAPACITA' ECONOMICO/GESTIONALI E IMPRENDITORIALI.....	5
3	DEFINIZIONI	6
4	LO SCENARIO DI RIFERIMENTO	8
4.1	La strategia energetica europea e nazionale	8
4.2	Governance del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)	13
4.3	Stato dell'arte della tecnologia solare fotovoltaica per gli impianti “utility scale”	15
4.3.1	<i>Premessa</i>	15
4.3.2	<i>Aspetti generali</i>	16
4.3.3	<i>I moduli FV.....</i>	18
4.3.4	<i>Modalità di posa dei moduli</i>	23
4.3.5	<i>Gli inverter</i>	24
4.3.6	<i>I criteri di dimensionamento: potenza DC e AC</i>	24
4.4	Impatto e sostenibilità ambientale.....	25
5	INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED URBANISTICO	27
5.1	Ubicazione dell'area di intervento	27
5.2	Inquadramento urbanistico e norme di tutela del territorio	28
5.2.1	<i>Inquadramento urbanistico – Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) di Macomer</i>	28
5.2.2	<i>Analisi dei vincoli di carattere paesaggistico-ambientale</i>	29
5.3	Inquadramento geologico generale.....	30
6	CONFIGURAZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO	34
6.1	Criteri di scelta del sito.....	34
6.2	Criteri di inserimento territoriale e ambientale	35
6.3	Lay-out del sistema fotovoltaico e potenza complessiva	36
6.4	Potenzialità energetica del Sito ed analisi di producibilità dell'impianto.....	38
6.4.1	<i>Premessa</i>	38
6.4.2	<i>I risultati del calcolo.....</i>	39
6.4.2.1	<i>Stima dell'irraggiamento globale ed incidente sul piano dei collettori</i>	39
6.4.2.2	<i>Simulazione energetica.....</i>	40
6.5	Principali ricadute ambientali positive	42
6.5.1	<i>Premessa</i>	42
6.5.2	<i>Contributo alla riduzione delle emissioni di CO₂</i>	43
6.5.3	<i>Emissioni evitate di inquinanti atmosferici</i>	45
6.5.4	<i>Risparmio di risorse energetiche non rinnovabili.....</i>	46
7	DESCRIZIONE TECNICA DEI COMPONENTI DELL'IMPIANTO	47

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 2 di 84	

7.1	Componenti principali e criteri generali di progettazione strutturale ed elettromeccanica.....	47
7.2	Gli inseguitori monoassiali	48
7.2.1	<i>Caratteristiche principali</i>	49
7.2.2	<i>Durata e trattamento protettivo dei componenti in acciaio.....</i>	50
7.2.3	<i>I pali di sostegno.....</i>	50
7.3	Moduli fotovoltaici	51
7.4	Schema a blocchi impianto fotovoltaico	54
7.5	Quadro Elettrico a 36kV – Cabina di raccolta	55
7.6	Cavi di distribuzione dell’energia a 36kV	57
7.7	Unità di conversione e trasformazione.....	58
7.8	Cavi di distribuzione dell’energia in Bassa Tensione (BT) in c.a. e c.c.....	61
7.8.1	<i>Cavi lato c.a. bassa tensione.....</i>	61
7.8.2	<i>Cavi lato a.c in bassa tensione all’interno degli edifici</i>	62
7.8.3	<i>Cavi lato c.c. bassa tensione.....</i>	62
7.8.4	<i>Modalità di posa principale cavi b.t.</i>	63
7.9	Quadri elettrici BT lato c.a.....	63
7.10	Quadri di campo e di parallelo stringhe lato c.c.	64
7.11	Misura dell’energia.....	65
7.11.1	<i>Aspetti generali</i>	65
7.12	Cabine prefabbricate	66
7.13	Software per visualizzazione, monitoraggio, telesorveglianza.....	66
7.14	Impianto di videosorveglianza	67
7.15	Stazione meteorologica	67
8	OPERE ACCESSORIE	68
8.1	Preparazione dell’area	68
8.2	Viabilità di servizio.....	68
8.3	Recinzioni e cancelli.....	68
8.4	Scavi per posa cavidotti	69
8.5	Interventi di mitigazione e inserimento ambientale.....	69
9	MOVIMENTI DI TERRA	71
9.1.1	<i>Scavi per la realizzazione dei cavidotti e opere di regimazione idrica.....</i>	71
10	DESCRIZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO	73
10.1	Indicazioni generali per l’esecutore dei lavori	73
10.2	Descrizione del contesto in cui è collocata l’area del cantiere.....	73
10.3	Principali lavorazioni previste.....	74

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 3 di 84	

10.4	Impianto elettrico di cantiere	76
10.5	Precauzioni aggiuntive con impianti FV	76
10.6	Tempi di realizzazione	77
11	POSSIBILI RICADUTE SOCIALI, OCCUPAZIONALI ED ECONOMICHE DELL’INTERVENTO A LIVELLO LOCALE.....	78
12	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	80
1.1	Norme legislative generali, nazionali e regionali	80
1.2	Opere in cemento armato	81
1.3	Norme tecniche impianti elettrici.....	82
1.4	Norme ARERA.....	82
1.5	Norme e Codice di Rete Terna	83
1.6	Altri documenti tecnici	83

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 4 di 84	

1 PREMESSA GENERALE

La presente relazione tecnico-descrittiva costituisce parte integrante del progetto definitivo di un impianto fotovoltaico denominato “GR MACOMER”, da realizzarsi su terreni ubicati in agro del Comune di Macomer (NU) in località “Arrulas” (Regione Sardegna – Provincia di Nuoro).

La proponente è la società GREENERGY RINNOVABILI 8 S.r.l. avente sede in via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI).

L’impianto in progetto avrà una potenza complessiva AC di 27,44 MW, data dalla somma delle potenze nominali dei singoli inverter (potenza nominale lato DC pari a 35,30 MW_P), e sarà costituito da n. 1925 inseguitori monoassiali (*tracker* da n. 2x14 pannelli FV); l’impianto sarà altresì integrato con un sistema di accumulo elettrochimico da 10 MW/22,36 MWh.

La centrale sarà suddivisa in blocchi di potenza (cluster), ciascuno dei quali invierà l’energia prodotta ad una cabina di conversione e trasformazione (*power station*) equipaggiata con inverter centralizzati c.c./c.a da 3430 kW e n. 1 trasformatore elevatore da 4000 kW. All’interno della *Cabina di conversione e trasformazione* si eleverà la tensione BT da 645 V, fornita in uscita dagli inverter, alla tensione di 36.000 V per il successivo vettoriamento dell’energia al previsto punto di connessione.

L’intervento ha ottenuto il preventivo di connessione di cui al Codice pratica TERNA n. 202101341 relativo ad una potenza in immissione di 27,5 MW; si evidenzia che anche quando il funzionamento dell’impianto avverrà con il sistema di accumulo esso verrà limitato alla massima potenza erogabile coincidente con il limite imposto dal Gestore della rete di trasmissione nazionale (RTN).

In accordo con la citata STMG l’impianto sarà collegato in antenna a 36 kV sulla sezione 36 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/150/36 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV “Ittiri -Selargius”.

In attesa della pubblicazione delle specifiche tecniche da parte di Terna su cavi, celle e apparecchiature per le connessioni a 36 kV (attualmente oggetto di valutazione, indagine di mercato e verifiche di cantiere da parte di Terna), ogni indicazione qui riportata ai cavi a 36 kV deve intendersi riferita a cavi da 20,8/36 kV o cavi da 26/45 kV commercialmente disponibili e idonei allo scopo.

L’elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento alla citata stazione RTN costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

La produzione di energia annua dell’impianto è stimata in circa 71,4 GWh/anno, pari al fabbisogno energetico di circa 24.700 famiglie.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>Rinnovabili</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 5 di 84	

2 DATI DEL PROPONENTE E CAPACITA' ECONOMICO/GESTIONALI E IMPRENDITORIALI

Il soggetto proponente dell'iniziativa è la società Greenergy Rinnovabili 8 srl (anche denominata GRR8) con sede in Via Borgonuovo 9 – 20121 – Milano. La società è iscritta nella Sezione Ordinaria della Camera di Commercio Industria Agricoltura ed Artigianato di Milano, con numero REA MI-2630170, C.F. e P.IVA N. 11892570968.

GRR 8 fa parte del gruppo Greenergy Renovables SA, con sede legale a Madrid e quotata alla borsa di Madrid, che opera in tutto il mondo nel campo delle energie rinnovabili.

Le attività principali del gruppo sono lo sviluppo, la progettazione, la realizzazione e l'esercizio di impianti fotovoltaici, eolici e di accumulo dell'energia.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 6 di 84	

3 DEFINIZIONI

Per le finalità del presente documento si applicano le definizioni riportate nel Glossario del Codice di trasmissione, dispacciamento, sviluppo e sicurezza della rete (in seguito Codice di Rete). Nel seguente elenco si riportano alcune di esse, integrate secondo quanto riportato nella Guida Tecnica Terna recante le “Condizioni generali di connessione alle reti AT” delle centrali fotovoltaiche.

Campo fotovoltaico: insieme di tutte le stringhe fotovoltaiche di un sistema dato.

Cella fotovoltaica: elemento minimo che manifesta l’effetto fotovoltaico, cioè che genera una tensione elettrica in corrente continua quando è sottoposto ad assorbimento di fotoni della radiazione solare.

Centrale Fotovoltaica (o impianto fotovoltaico): insieme di uno o più campi fotovoltaici e di tutte le infrastrutture e apparecchiature richieste per collegare gli stessi alla rete elettrica ed assicurarne il funzionamento.

Interruttore Generale: interruttore la cui apertura assicura la separazione dell’intera Centrale Fotovoltaica dalla rete del Gestore. Una Centrale Fotovoltaica può essere connessa alla rete anche con più di un Interruttore Generale.

Interruttore di Inverter: interruttore la cui apertura assicura la separazione del singolo inverter dalla rete.

Inverter (o convertitore di potenza c.c./c.a.): apparecchiatura impiegata per la conversione della corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici in corrente alternata monofase o trifase.

Linee di sottocampo: linee di media tensione che raccolgono la produzione parziale della Centrale Fotovoltaica sulla sezione MT dell’impianto d’utenza.

Maximum Power Point (MPP): punto di massima potenza. È il punto di funzionamento del pannello fotovoltaico in cui questo rilascia la potenza massima possibile, espressa in kWPICCO (kWp). Il massimo punto di potenza varia a seconda dell’irraggiamento e della temperatura dell’ambiente.

Modulo fotovoltaico: il più piccolo insieme di celle fotovoltaiche interconnesse e protette dall’ambiente circostante.

Pannello fotovoltaico: gruppo di moduli pre-assemblati, fissati meccanicamente insieme e collegati elettricamente.

Potenza nominale o di targa dell’inverter: potenza attiva massima alla tensione nominale che può essere fornita con continuità da ogni singolo inverter nelle normali condizioni di funzionamento. È riportata nei dati di targa. È espressa in kW.

Potenza apparente dell’inverter: potenza apparente del singolo inverter alla tensione nominale nelle normali condizioni di funzionamento. E’ riportata nei dati di targa. E’ espressa in kVA.

Potenza nominale della Centrale Fotovoltaica (Pn): Corrisponde alla somma delle potenze di targa degli inverter solari utilizzati per la conversione da DC a AC. È espressa in MW (vedasi par.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 7 di 84	

4.3.6 per approfondimenti).

Potenza nominale dei moduli fotovoltaici: potenza attiva alla tensione nominale che può essere fornita con continuità in condizioni specificate da ogni singolo modulo. È riportata nei dati di targa ed è espressa in kWp (vedasi par. 4.3.6 per approfondimenti).

Potenza nominale disponibile della Centrale Fotovoltaica (Pnd): somma delle potenze nominali degli inverter disponibili in un determinato momento. È espressa in MW.

Potenza erogabile dall’inverter: potenza massima erogabile dall’inverter nelle condizioni ambientali e irraggiamento correnti. È espressa in kW.

Potenza erogabile della Centrale Fotovoltaica: potenza che può essere erogata dalla centrale nelle condizioni ambientali correnti. È la somma delle potenze erogabili degli inverter disponibili in un determinato momento. È espressa in MW.

Potenza attiva immessa in rete dalla Centrale Fotovoltaica: potenza erogata dalla centrale fotovoltaica alla rete, misurata nel punto di connessione. È espressa in MW.

Potenza reattiva immessa in rete dalla Centrale Fotovoltaica: potenza erogata dalla Centrale Fotovoltaica alla rete, misurata nel punto di connessione. È espressa in MVar. Nel seguito sono utilizzate le seguenti convenzioni di segno: positiva se immessa in rete (effetto capacitivo), negativa se assorbita (effetto induttivo).

Punto di Connessione: (o Punto di Consegna): confine fisico tra la rete di trasmissione e l’impianto d’utenza attraverso il quale avviene lo scambio fisico dell’energia elettrica.

Sottocampo fotovoltaico: le parti del campo fotovoltaico che si connettono in maniera distinta alla sezione di media tensione (sezione MT) attraverso le linee di sotto-campo. Il termine di sottocampo fotovoltaico ai fini della presente guida non rappresenta l’insieme delle stringhe connesse al singolo inverter ma fa riferimento alla parzializzazione della Centrale Fotovoltaica nella sezione MT dell’impianto d’utenza.

Stringa fotovoltaica: insieme di pannelli fotovoltaici collegati elettricamente in serie.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 8 di 84	

4 LO SCENARIO DI RIFERIMENTO

4.1 La strategia energetica europea e nazionale

Le politiche europee in materia di energia perseguono due principali obiettivi: quello della progressiva decarbonizzazione dell’economia e quello della piena realizzazione di un mercato unico.

Con specifico riguardo alle problematiche di maggiore interesse per il presente Studio, si evidenzia come negli ultimi anni l’Unione Europea abbia deciso di assumere un ruolo di *leadership* mondiale nella riduzione delle emissioni di gas serra. Il primo fondamentale passo in tale direzione è stato la definizione di obiettivi ambiziosi già al 2020.

Nel 2008, l’Unione Europea ha varato il “Pacchetto Clima-Energia” (cosiddetto “Pacchetto 20-20-20”), con i seguenti obiettivi energetici e climatici al 2020:

- un impegno unilaterale dell’UE a ridurre di almeno il 20% entro il 2020 le emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990. Gli interventi necessari per raggiungere gli obiettivi al 2020 continueranno a dare risultati oltre questa data, contribuendo a ridurre le emissioni del 40% circa entro il 2050.
- un obiettivo vincolante per l’UE di contributo del 20% di energia da fonti rinnovabili sui consumi finali lordi entro il 2020, compreso un obiettivo del 10% per i biocarburanti.
- una riduzione del 20% nel consumo di energia primaria rispetto ai livelli previsti al 2020, da ottenere tramite misure di efficienza energetica.

Tale obiettivo, solo enunciato nel pacchetto, è stato in seguito declinato, seppur in maniera non vincolante, nella direttiva efficienza energetica approvata in via definitiva nel mese di ottobre 2012.

In una prospettiva di progressiva riduzione delle emissioni climalteranti, il Consiglio europeo del 23-24 ottobre 2014 ha approvato i nuovi obiettivi clima energia al 2030, di seguito richiamati:

- riduzione di almeno il 40% delle emissioni di gas a effetto serra nel territorio UE rispetto al 1990;
- quota dei consumi finali di energia coperti da fonti rinnovabili pari al 27%, vincolante a livello europeo, ma senza target vincolanti a livello di Stati membri;
- riduzione del 27% dei consumi finali di energia per efficienza energetica, non vincolante ma passibile di revisioni per un suo innalzamento al 30%.

Negli auspici del Consiglio d’Europa, un approccio comune durante il periodo fino al 2030 aiuterà a garantire la certezza normativa agli investitori e a coordinare gli sforzi dei paesi dell’UE.

Il quadro delineato al 2030 contribuisce a progredire verso la realizzazione di un’economia a basse emissioni di carbonio e a costruire un sistema che:

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 9 di 84	

- assicuri energia a prezzi accessibili a tutti i consumatori;
- renda più sicuro l’approvvigionamento energetico dell’UE;
- riduca la dipendenza europea dalle importazioni di energia e
- crei nuove opportunità di crescita e posti di lavoro.

Lo stesso, inoltre, apporta anche benefici sul piano dell’ambiente e della salute, ad esempio riducendo l’inquinamento atmosferico.

L’Italia ha stabilito i propri contributi agli obiettivi europei al 2030 attraverso la predisposizione della *Proposta di Piano Nazionale Integrato per l’energia e il clima*; relativamente all’energia rinnovabile, di particolare interesse per il presente studio, la Proposta di Piano fissa un obiettivo di copertura, nel 2030, del 30% del consumo finale lordo di energia da fonti rinnovabili. In particolare, si prevede che il contributo delle rinnovabili al soddisfacimento dei consumi finali lordi totali al 2030 sia così differenziato tra i diversi settori:

- 55,4% di quota rinnovabili nel settore elettrico;
- 33% di quota rinnovabili nel settore termico (usi per riscaldamento e raffrescamento);
- 21,6% per quanto riguarda l’incorporazione di rinnovabili nei trasporti.

Relativamente al settore elettrico, è prevista una forte penetrazione dell’eolico e del fotovoltaico attraverso la stimolazione di una nuova produzione, nonché promuovendo il *revamping* e il *repowering* degli impianti esistenti.

Tabella 4.1 – Obiettivi di crescita della potenza (MW) da fonte rinnovabile al 2030 (Fonte: PNIEC)

Fonte	2016	2017	2025	2030
Idrica	18.641	18.863	19.140	19.200
Geotermica	815	813	919	950
Eolica	9.410	9.766	15.690	18.400
<i>di cui off-shore</i>	0	0	300	900
Bioenergie	4.124	4.135	3.570	3.764
Solare	19.269	19.682	26.840	50.880
<i>di cui CSP</i>	0	0	250	880
Totale	52.258	53.259	66.159	93.194

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 10 di 84

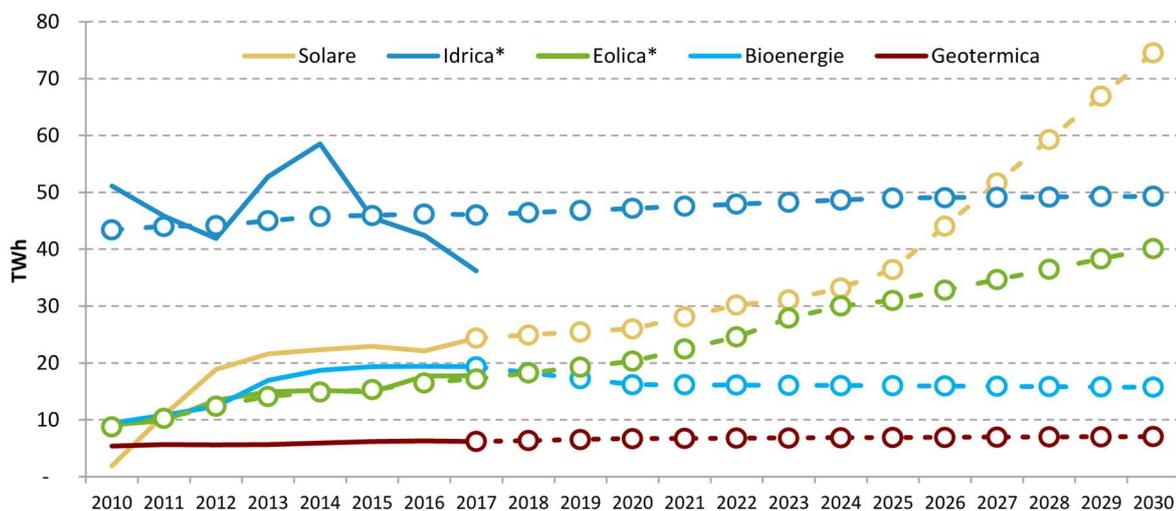


Figura 4.1 – Traiettorie di crescita dell'energia elettrica da fonti rinnovabili al 2030 (Fonte: PNIEC)

Tra le politiche e misure per realizzare il contributo nazionale all'obiettivo fissato al 2030, il Piano pone l'accento sulla ripartizione dello stesso fra le Regioni, attraverso l'individuazione, da parte di quest'ultime, delle aree da mettere a disposizione per la realizzazione degli impianti, privilegiando installazioni a ridotto impatto ambientale.

Nell'ambito dell'Unione Europea, inoltre, si è da alcuni anni iniziato a discutere sugli scenari e gli obiettivi per orizzonti temporali di lungo e lunghissimo termine, ben oltre il 2020. Nello studio denominato *Energy Roadmap 2050* si prevede, infatti, una riduzione delle emissioni di gas serra del 80-95% entro il 2050 rispetto ai livelli del 1990, con un abbattimento per il settore elettrico di oltre il 95%. I diversi scenari esaminati dalla Commissione per questo percorso assegnano grande importanza all'efficienza energetica e alla produzione da fonti rinnovabili, guardando anche con attenzione all'utilizzo di energia nucleare e allo sviluppo della tecnologia CCS (*Carbon Capture and Storage*), e prevedendo un ruolo fondamentale per il gas durante la fase di transizione, che consentirà di ridurre le emissioni sostituendo carbone e petrolio nella fase intermedia, almeno fino al 2030-2035. I principali cambiamenti strutturali identificati includono:

- un aumento della spesa per investimenti e una contemporanea riduzione di quella per il combustibile;
- un incremento dell'importanza dell'energia elettrica, che dovrà quasi raddoppiare la quota sui consumi finali (fino al 36-39%) e contribuire alla decarbonizzazione dei settori dei trasporti e del riscaldamento;
- un ruolo cruciale affidato all'efficienza energetica, che potrà raggiungere riduzioni fino al 40% dei consumi rispetto al 2005;
- un incremento sostanziale delle fonti rinnovabili, che potranno rappresentare il 55% dei consumi finali di energia (e dal 60 al 90% dei consumi elettrici);

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinnovabili</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 11 di 84	

- un incremento delle interazioni tra sistemi centralizzati e distribuiti.

L'attuale Commissione Ue, guidata da Ursula von Der Leyen, ha presentato a dicembre 2019 il suo **Green Deal (GD)** che punta a realizzare un'economia “neutrale” sotto il profilo climatico entro il 2050, ossia azzerare le emissioni nette di CO2 con interventi in tutti i settori economici, dalla produzione di energia ai trasporti, dal riscaldamento/raffreddamento degli edifici alle attività agricole, nonché nei processi manifatturieri, nelle industrie “pesanti” e così via.

Tra i temi più importanti su energia e ambiente del GD:

- la possibilità di eliminare i sussidi ai combustibili fossili e in particolare le esenzioni fiscali sui carburanti per navi e aerei, seguendo la logica che il costo dei mezzi di trasporto deve riflettere l'impatto di tali mezzi sull'ambiente;
- la possibilità di adottare una “carbon border tax” per tassare alla frontiera le importazioni di determinati prodotti, in modo che il loro prezzo finale rispecchi il reale contenuto di CO2, ossia la quantità di CO2 rilasciata nell'atmosfera per produrre quelle merci;
- **Decarbonizzare il mix energetico, puntando in massima parte sulle rinnovabili**, con la contemporanea rapida uscita dal carbone.

Nel settembre 2020 la Commissione ha proposto di **elevare l'obiettivo della riduzione delle emissioni di gas serra per il 2030, compresi emissioni e assorbimenti, ad almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990.**

Sono state prese in considerazione tutte le azioni necessarie in tutti i settori, compresi un aumento dell'efficienza energetica e dell'energia da fonti rinnovabili, in maniera da garantire il progredire verso un'economia climaticamente neutra e gli impegni assunti nel quadro dell'accordo di Parigi.

Obiettivi chiave per il 2030:

- una riduzione almeno del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990)
- una **quota almeno del 32% di energia rinnovabile**
- un miglioramento almeno del 32,5% dell'efficienza energetica.

L'obiettivo della riduzione del 40% dei gas serra è attuato mediante il sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (il cd ETS), il regolamento sulla condivisione degli sforzi con gli obiettivi di riduzione delle emissioni degli Stati membri, e il regolamento sull'uso del suolo, il cambiamento di uso del suolo e la silvicoltura. In tal modo tutti i settori contribuiranno al conseguimento dell'obiettivo del 40% riducendo le emissioni e aumentando gli assorbimenti.

Al fine di mettere in atto e realizzare questi obiettivi chiave, **il 14 luglio 2021 la Commissione europea ha adottato un pacchetto di proposte per rendere le politiche dell'UE in materia di clima, energia, uso del suolo, trasporti e fiscalità idonee a ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990.**

Il pacchetto contiene in tutto 13 nuove proposte legislative per riformare diversi settori e prevede

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 12 di 84	

innanzitutto di rivedere il sistema di scambio di quote di carbonio denominato ETS, che, nello specifico, viene anche allargato al settore marittimo; viene introdotto un nuovo sistema parallelo riservato ai trasporti su strada e ai sistemi di riscaldamento degli edifici.

I target di abbattimento delle emissioni del vecchio sistema ETS entro il 2030 passano dal -43% al -61% sui livelli del 2005. Il nuovo ETS, invece, avrà un obiettivo di taglio emissioni del 43% al 2030 sui livelli del 2005 e sarà in vigore dal 2025.

È prevista altresì la **revisione della direttiva RED (Renewable Energy Directive) sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili**. La Commissione ha stabilito nuovi target vincolanti sulle fonti pulite, precisando anche quali fonti di energia possono essere considerate pulite. **La direttiva sulle energie rinnovabili fisserà un obiettivo maggiore per produrre il 40% della nostra energia da fonti rinnovabili entro il 2030**. Tutti gli Stati membri contribuiranno a questo obiettivo e verranno proposti obiettivi specifici per l’uso delle energie rinnovabili nei trasporti, nel riscaldamento e raffreddamento, negli edifici e nell’industria. La produzione e l’uso di energia rappresentano il 75% delle emissioni dell’UE e, quindi, è fondamentale accelerare la transizione verso un sistema energetico più verde.

Nel frattempo, i principali Paesi europei si stanno muovendo verso l’adozione di obiettivi di strategia energetica in linea con quelli comunitari. Ne sono esempio le strategie energetiche di Germania, Regno Unito e Danimarca.

La Germania, con la “Energiewende”, si propone: una produzione da rinnovabili pari al 18% dei consumi finali al 2020, per arrivare fino al 60% al 2050 (con obiettivo di sviluppo rinnovabili nel settore elettrico pari al 35% al 2020, e fino all’80% al 2050); una riduzione dei consumi primari al 2020 del 20% rispetto ai valori del 2008 (in particolare, è attesa una riduzione dei consumi elettrici del 10% al 2020), per arrivare fino al 50% nel 2050.

Il Governo del Regno Unito (“*Enabling the transition to a Green Economy*”) ha attivato una serie di strumenti di policy a supporto della transizione verso la green economy. Tra gli obiettivi del Governo inglese al 2020, vi è la riduzione delle emissioni di gas serra del 34% e la produzione del 15% dell’energia tramite fonti rinnovabili.

La Danimarca, con la “Strategia Energetica 2050”, si propone un orientamento di lungo periodo flessibile, che punta a rendere il Paese indipendente dai combustibili fossili entro il 2050, fissando come punti chiave del percorso al 2020: la produzione da rinnovabili al 30% dei consumi finali e la riduzione dei consumi primari del 4% rispetto ai valori del 2006.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 13 di 84	

4.2 Governance del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) si inserisce all'interno del programma *Next Generation EU* (NGEU), concordato dall'Unione Europea in risposta alla crisi pandemica. La principale componente del programma NGEU è il Dispositivo per la Ripresa e Resilienza, che ha una durata di 6 anni (dal 2021 al 2026) e una dimensione totale di 672,5 miliardi di euro.

Il Piano si sviluppa intorno a tre assi strategici condivisi a livello europeo (digitalizzazione e innovazione, transizione ecologica e inclusione sociale) e lungo le seguenti missioni:

- 1) **Digitalizzazione, Innovazione, Competitività, Cultura**, con l'obiettivo di promuovere la trasformazione digitale del Paese, sostenere l'innovazione del sistema produttivo, e investire in turismo e cultura;
- 2) **Rivoluzione Verde e Transizione Ecologica**, con gli obiettivi principali di migliorare la sostenibilità e la resilienza del sistema economico e assicurare una transizione ambientale equa e inclusiva;
- 3) **Infrastrutture per una Mobilità Sostenibile**, il cui obiettivo primario è lo sviluppo di un'infrastruttura di trasporto moderna, sostenibile ed estesa a tutte le aree del Paese;
- 4) **Istruzione e Ricerca**, con l'obiettivo di rafforzare il sistema educativo, le competenze digitali e tecnico-scientifiche, la ricerca e il trasferimento tecnologico;
- 5) **Inclusione e Coesione**, per facilitare la partecipazione al mercato del lavoro, rafforzare le politiche attive del lavoro e favorire l'inclusione sociale;
- 6) **Salute**, con l'obiettivo di rafforzare la prevenzione e i servizi sanitari sul territorio, modernizzare e digitalizzare il sistema sanitario e garantire equità di accesso alle cure.

Il Piano prevede inoltre un ambizioso programma di riforme per facilitare la fase di attuazione e, più in generale, contribuire alla modernizzazione del Paese, rendendo il contesto economico più favorevole allo sviluppo dell'attività d'impresa.

Di particolare interesse, ai fini del presente Progetto, è la missione relativa alla rivoluzione verde e transizione ecologica, la quale consiste in:

- C1. Economia circolare e agricoltura sostenibile;
- C2. Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile;
- C3. Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici;
- C4. Tutela del territorio e della risorsa idrica.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 14 di 84	

In merito allo sviluppo dell'energia rinnovabile, il Piano prevede un incremento della quota di energia prodotta da FER, in linea con gli obiettivi europei e nazionali di decarbonizzazione, attraverso:

- lo sviluppo dell'agro-voltaico, ossia l'implementazione di sistemi ibridi agricoltura-produzione di energia che non compromettano l'utilizzo dei terreni dedicati all'agricoltura, ma contribuiscano alla sostenibilità ambientale ed economica delle aziende coinvolte. L'obiettivo dell'investimento è installare a regime una capacità produttiva da impianti agro-voltaici di 1,04 GW, che produrrebbe circa 1.300 GWh annui, con riduzione delle emissioni di gas serra stimabile in circa 0,8 milioni di tonnellate di CO₂;
- la promozione delle rinnovabili per le comunità energetiche e l'auto-consumo, ipotizzando che riguardino impianti fotovoltaici con una produzione annua di 1.250 kWh per kW, ovvero circa 2.500 GWh annui, i quali contribuiranno a una riduzione delle emissioni di gas serra stimata in circa 1,5 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno;
- la promozione impianti innovativi (incluso off-shore), che combinino tecnologie ad alto potenziale di sviluppo con tecnologie più sperimentali (come i sistemi che sfruttano il moto ondoso), in assetti innovativi e integrati da sistemi di accumulo. La realizzazione di questi interventi, per gli assetti ipotizzati in funzione delle diverse tecnologie impiegate, consentirebbe di produrre circa 490 GWh anno che contribuirebbero ad una riduzione di emissioni di gas climalteranti stimata intorno alle 286.000 tonnellate di CO₂;
- lo sviluppo del biometano.

Per rendere efficace l'implementazione di questi interventi nei tempi previsti, sono in fase di attuazione alcune riforme fondamentali, in parte contenute nel recente D.L. 77/2021 (Decreto Semplificazioni).

Con particolare riferimento al comma 2 dell'art. 31 del predetto D.L., inteso a facilitare la risoluzione dei potenziali conflitti tra i valori oggetto di tutela paesaggistica e la realizzazione degli impianti fotovoltaici, il Legislatore evidenzia la circostanza che, per rispettare gli obiettivi UE sul clima e l'energia entro il 2030, l'Italia deve raggiungere i 52 GWp di installazioni fotovoltaiche (circa 30 GWp in più rispetto ai circa 22 GWp attuali). Per raggiungere il suddetto obiettivo al 2030 a livello nazionale si dovrebbero garantire una media dell'installato di circa 3 GWp all'anno. Inoltre, occorre tener conto che, secondo il Politecnico di Milano, in vista del nuovo obiettivo di riduzione del 55% delle emissioni al 2030 posto dalla Commissione UE, le installazioni fotovoltaiche dovrebbero raggiungere i 68,4 GWp (pertanto circa 46 GW in più rispetto a quelli attuali). Alla luce degli obiettivi sopra esposti si avverte dunque, a livello di governance, una necessità impellente di imprimere un'accelerazione all'installazione di impianti fotovoltaici, anche in considerazione del fatto che, nonostante la disponibilità di strumenti di sostegno, stabiliti ai sensi del DM 4 luglio 2019 (il cd DM FER1), gli operatori non partecipano alle aste ivi definite in quanto privi di autorizzazioni, così come si evince dai risultati degli ultimi 3 bandi per aste e registri indetti dal GSE e già conclusi:

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 15 di 84	

- III bando: il GSE ha reso noto l’esito a fine settembre 2020, da cui risulta che sono state inviate richieste per poco più di un terzo della potenza incentivabile (1.300 MW), con scarsa partecipazione in tutte le categorie;
- IV bando: come risulta dalle graduatorie pubblicate a fine gennaio 2021, sono state presentate richieste per meno di un terzo del contingente incentivabile e i progetti ammessi corrispondono ad appena un quarto della potenza ammissibile, con un divario particolarmente rilevante per le aste per i grandi impianti (356,8 MW richiesti a fronte dei 1.374,1 disponibili);
- V bando: il GSE ha reso noto l’esito a fine maggio 2021 e risulta che, rispetto a un contingente incentivabile di quasi 2.500 MW, sono state presentate domande per 358 MW, di cui in posizione utile per gli incentivi meno di 300 MW.

4.3 Stato dell’arte della tecnologia solare fotovoltaica per gli impianti “utility scale”

4.3.1 Premessa

Con una capacità totale installata di circa 850 GW¹ in tutto il mondo e incrementi annuali di circa 100 GW negli ultimi anni, la tecnologia solare fotovoltaica (FV) ha assunto un ruolo sempre più importante nel panorama della generazione elettrica a livello globale. Un sostanziale calo del costo delle centrali fotovoltaiche (riduzione dell’80% dal 2008) ha migliorato la competitività del solare fotovoltaico, riducendo la necessità di sussidi e consentendo alla tecnologia di competere, in alcuni mercati, con differenti opzioni di generazione di energia.

Sebbene l’energia prodotta dai sistemi FV rappresenti attualmente una piccola percentuale della generazione elettrica globale², la diffusione delle centrali solari fotovoltaiche sta crescendo rapidamente sia per le applicazioni di scala industriale (o “utility scale”) sia nella generazione distribuita. Come rappresentato dalla Figura 4.2, la crescita del solare FV è pienamente in linea con lo scenario di sostenibilità prefigurato dall’International Energy Agency per il 2030, nel quale la generazione elettrica da FV è attesa in circa 3.300 TWh.

¹ Dato riferito al 31/12/2021 – Fonte IRENA “Renewable capacity statistics” (2022)

² Oltre 1.000 TWh nel 2021, pari a circa il 3,6% della produzione energetica globale (Fonte IEA <https://www.iea.org/reports/solar-pv>)

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 16 di 84

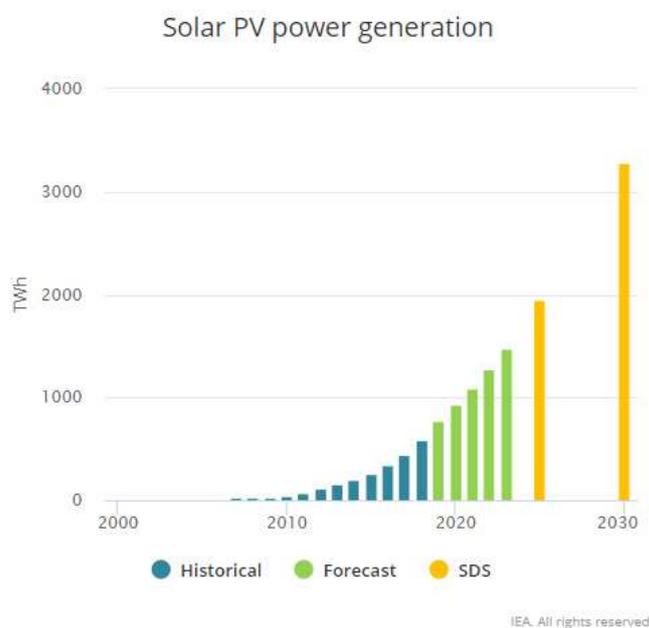


Figura 4.2 – Scenario di produzione elettrica da sistemi FV al 2030 (Fonte IEA)

La riduzione dei costi, spinta dai progressi tecnologici, le economie di scala nella produzione e le innovazioni nelle soluzioni di finanziamento hanno determinato il raggiungimento, per le moderne centrali FV, del cosiddetto regime di “grid parity”³ in un crescente numero di mercati. Progressi continui e ulteriori riduzioni dei costi amplieranno queste opportunità nel prossimo futuro, anche nei paesi in via di sviluppo in cui esistono condizioni solari favorevoli. La tecnologia del solare si sta rivelando applicabile in più luoghi e per più applicazioni di quanto molti esperti del settore avevano previsto anche pochi anni fa.

4.3.2 Aspetti generali

In questa sezione sono sinteticamente illustrati le tecnologie dei moduli FV, i sistemi di supporto dei moduli, gli inverter e i metodi di quantificazione delle prestazioni degli impianti fotovoltaici.

Al riguardo sarà fornita una panoramica delle attuali tecnologie disponibili in commercio, utilizzate nei progetti fotovoltaici di taglia industriale, al fine di fornire un quadro di informazioni utili a favorire il processo istruttorio del progetto.

³ In energetica la grid parity è il punto in cui l'energia elettrica prodotta per mezzo di impianti alimentati a fonti energetiche rinnovabili ha lo stesso prezzo dell'energia prodotta tramite fonti energetiche convenzionali cioè le fonti fossili, o fonti energetiche alternative come il nucleare.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 17 di 84

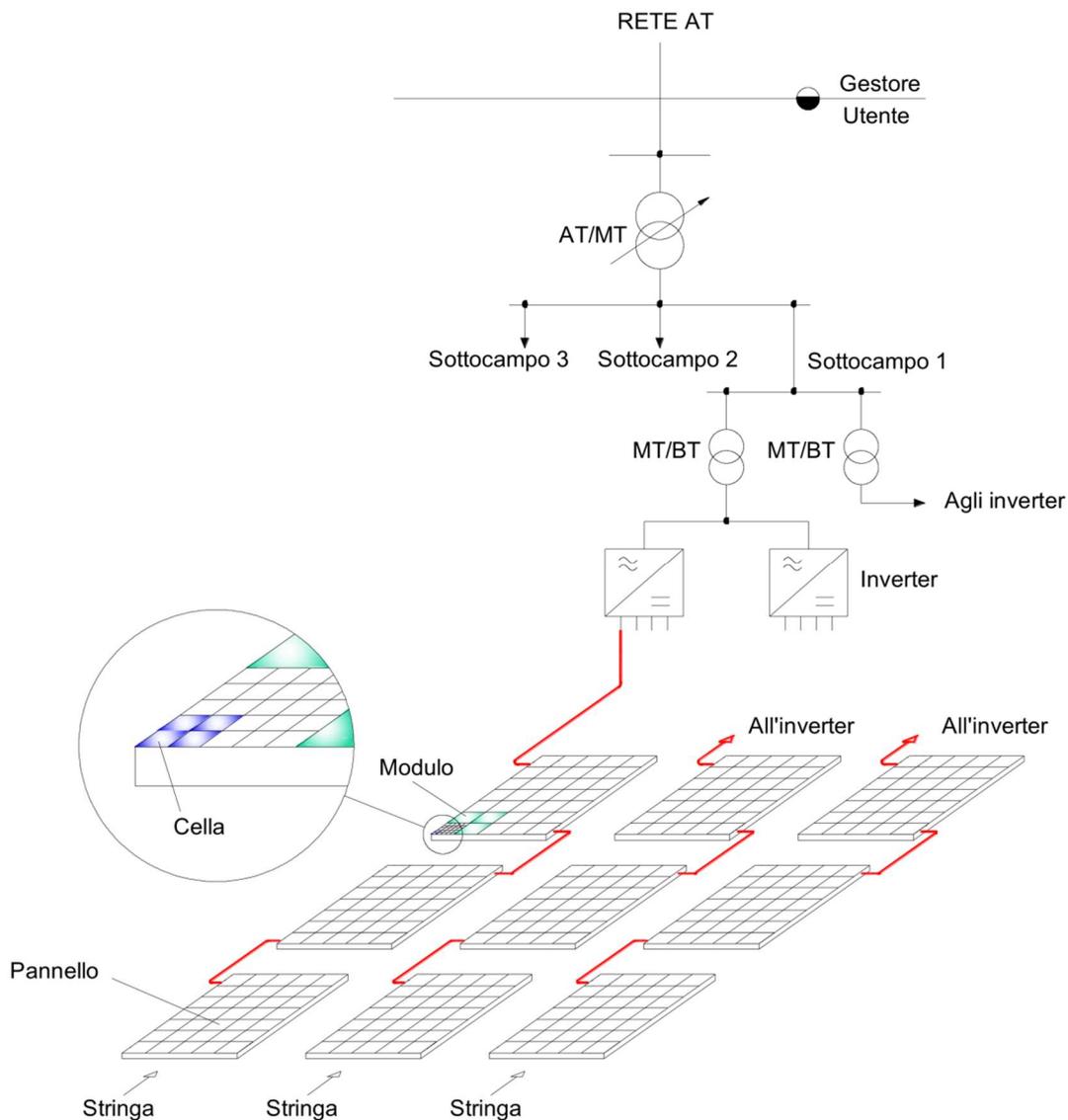


Figura 4.3 – Configurazione tipica di un impianto FV “utility scale” (Fonte Terna)

La Figura 4.3 fornisce un’illustrazione schematica della configurazione tipica di un impianto *grid connected* di potenza superiore al megawatt (soglia convenzionalmente indicata per la classificazione degli impianti c.d. “*utility scale*”). I componenti principali includono:

- **Moduli fotovoltaici:** convertono la radiazione solare incidente in elettricità attraverso l’effetto fotovoltaico, un processo non inquinante né rumoroso. L’effetto PV è un effetto associato alle proprietà dei materiali semiconduttori in base al quale la radiazione solare che incide sulle celle fotovoltaiche determina una variazione della distribuzione delle cariche ed una differenza di potenziale. Secondo questo principio, la cella fotovoltaica solare produce elettricità in corrente continua (DC). Un impianto fotovoltaico si compone di numerose celle

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 18 di 84	

collegate tra loro in moduli e moduli collegati tra loro in stringhe⁴ per produrre la potenza richiesta.

- **Inverter:** sono necessari per convertire l’elettricità DC in corrente alternata (AC) per il collegamento alla rete pubblica. Ogni inverter è collegato elettricamente a numerosi moduli in serie e stringhe in parallelo;
- **Sistemi di sostegno (e/o orientazione) del modulo:** consentono di fissare saldamente i moduli fotovoltaici a terra con un angolo di inclinazione fisso o su inseguitori solari;
- **Trasformatori elevatori:** L’uscita dagli inverter richiede generalmente un’ulteriore elevazione in tensione per raggiungere il livello di tensione della rete AC. I sistemi di trasformazione portano la tensione in uscita dagli inverter alla tensione di rete richiesta (ad esempio 15kV, 20kV, 36kV, 150kV, 220 kV a seconda del punto di connessione alla rete e degli standard nazionali).
- **L’interfaccia di connessione alla rete:** qui l’elettricità prodotta viene trasferita nella rete pubblica. La tipica sottostazione elettrica è provvista anche dei quadri di interfaccia di rete richiesti, interruttori di circuito e sezionatori per la protezione e l’isolamento della centrale fotovoltaica, nonché delle apparecchiature di misurazione. La sottostazione e il punto di misurazione possono essere ubicati anche all’esterno del limite dell’impianto fotovoltaico.

4.3.3 I moduli FV

Nel seguito saranno sinteticamente individuate le opzioni tecnologiche disponibili in commercio per i moduli FV; si accennerà inoltre alla certificazione dei moduli ed al degrado delle prestazioni dei moduli FV solari nel tempo.

I materiali

Le proprietà specifiche dei semiconduttori richieste per il funzionamento delle celle FV limitano lo spettro delle materie prime da cui possono essere fabbricate. Il silicio è il materiale più comune, ma sono estremamente importanti anche le celle che impiegano CdTe e CIGS / CIS. Le tecnologie fotovoltaiche emergenti (le celle organiche) sono realizzate con polimeri, tuttavia, non sono ancora disponibili in commercio.

Ogni materiale ha caratteristiche uniche che incidono sulle prestazioni delle celle, sul metodo di produzione e sui costi. Le celle fotovoltaiche possono essere basate su “wafer” di silicio (prodotti tagliando “fette” di materiale (wafer) da un blocco di lingotto solido di silicio) o su tecnologie a “film sottile”, nelle quali un sottile strato di materiale semiconduttore viene posto su substrati a basso costo.

Le celle fotovoltaiche sono generalmente classificate come cristalline o a film sottile. Le celle di silicio

⁴ I moduli possono essere collegati elettricamente in serie o in parallelo. Se collegati in serie, la tensione ai capi della stringa aumenta. Le stringhe di moduli collegati in parallelo sono viceversa attraversate da una corrente maggiore.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 19 di 84	

cristallino (c-Si) forniscono moduli ad alta efficienza e sono suddivise in silicio monocristallino (mono-c-Si) o silicio multicristallino (multi-c-Si). Le celle mono-c-Si sono generalmente le più efficienti, ma sono anche più costose delle multi-c-Si. Le celle a film sottile offrono un'alternativa più economica, ma sono meno efficienti. Esistono tre tipi principali di celle a film sottile: cadmio tellururo (CdTe), rame indio (gallio) di-selenide (CIGS / CIS) e silicio amorfo (a-Si).

Allo stato attuale, la tecnologia c-Si comprende quasi l'80% della capacità solare installata a livello globale ed è verosimile che rimanga dominante nel prossimo futuro.

Il degrado e vita utile dei moduli

Le prestazioni di un modulo fotovoltaico diminuiscono nel tempo. Il degrado ha diverse cause, che possono includere effetti associati all'umidità, temperatura, irraggiamento solare e differenze di potenziale; questo è indicato come (PID – *Potential Induced Degradation*)⁵. Altri fattori che influenzano il degrado includono la qualità dei materiali utilizzati nella fabbricazione, il processo di fabbricazione e la qualità dell'assemblaggio e dell'imballaggio delle celle nel modulo.

La manutenzione influisce solo limitatamente sul degrado dei moduli, che dipende principalmente dalle caratteristiche specifiche del modulo utilizzato e dalle condizioni climatiche locali. È quindi decisiva la scelta di produttori di moduli affidabili.

L'entità e la natura del degrado variano a seconda delle tecnologie dei moduli. Per i moduli cristallini, il tasso di degrado è in genere più elevato nel primo anno dopo l'esposizione iniziale alla luce e quindi si stabilizza. Il LID⁶ si verifica a causa di difetti che si manifestano all'esposizione iniziale alla luce. Può essere causato dalla presenza di boro, ossigeno o altri prodotti chimici lasciati dal processo di stampa o incisione della produzione della cella. A seconda del wafer e della qualità della cella, il LID può variare dallo 0,5% al 2,0%.

Un ulteriore degrado delle tecnologie amorfe e cristalline si verifica a livello di modulo e può essere causato da:

- Effetto delle condizioni ambientali sulla superficie del modulo (ad esempio, inquinamento).
- Scolorimento o foschia dell'incapsulante o del vetro.
- Difetti di laminazione
- Sollecitazioni meccaniche e umidità sui contatti.
- Ripartizione del contatto cellulare.

⁵ Nei grandi impianti in cui le stringhe di moduli collegati in serie consentono di raggiungere livelli di tensione notevole (anche 1000 V) il verificarsi del PID è piuttosto frequente. Soprattutto verso l'estremità della stringa, verso il polo positivo o il negativo, l'elevata differenza di potenziale rispetto alla terra porta, a livello fisico, ad una migrazione delle cariche ioniche dalla cella verso la cornice del modulo frontale (che solitamente si trova al potenziale di terra per ragioni di sicurezza), attraverso il materiale di incapsulamento ed addirittura attraverso il vetro frontale. Sebbene il flusso elettrico sia dell'ordine dei micro Ampere, questa debole ma continua corrente di dispersione provoca nel medio periodo un veloce e continuo degrado del materiale che si traduce in una diminuzione consistente della corrente prodotta dal modulo.

⁶ Lid è l'acronimo di *Light Induced Degradation*, un difetto relativamente comune nelle celle solari di silicio cristallino di tipo p.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 20 di 84	

– Degradamento del cablaggio

I moduli fotovoltaici possono avere un tasso di degrado della potenza a lungo termine compreso tra lo 0,3% e l'1,0% all'anno. Per i moduli cristallini, un tasso di degrado generico dello 0,4% all'anno è spesso considerato applicabile. Alcuni produttori di moduli hanno condotto specifici test indipendenti che dimostrano che si possono ipotizzare con sicurezza tassi di degrado più bassi.

In generale, si prevede che i moduli fotovoltaici di buona qualità abbiano una vita utile compresa tra 25 e 30 anni. Oltre tale limite aumenta significativamente il rischio di un incremento dei tassi di degrado.

Certificazioni

La Commissione elettrotecnica internazionale (IEC) emette norme accettate a livello internazionale per i moduli fotovoltaici. Il Comitato Tecnico 82, “*Sistemi solari fotovoltaici*,” è responsabile della stesura di tutti gli standard IEC relativi al fotovoltaico. In genere i moduli fotovoltaici devono essere testati per la durabilità e l'affidabilità secondo questi standard:

Le norme IEC 61215 (per moduli c-Si) e IEC 61646 (per moduli a film sottile) includono test per cicli termici, umidità e congelamento, sollecitazioni meccaniche e torsioni, resistenza alla grandine e prestazioni in condizioni di prova standard (STC). Si tratta di marchi di qualità minima accettati e certificano che i moduli possono resistere a un uso prolungato. Tuttavia, tali certificazioni sono molto meno rappresentative in merito alle prestazioni del modulo in condizioni di posa sul campo.

Uno standard IEC per la potenza e la classificazione energetica dei moduli fotovoltaici a diversa irradianza e condizioni di temperatura è diventato disponibile nel 2011. IEC 61853-1 “*Test delle prestazioni dei moduli fotovoltaici e classificazione energetica*” fornisce la metodologia per l'accertamento delle prestazioni dettagliate dei moduli. Si dispone quindi di un protocollo accurato per confrontare le prestazioni dei diversi modelli di modulo.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 21 di 84	

Tabella 4.2 – Standard di riferimento per i moduli fotovoltaici

Test	Descrizione	Commento
IEC 61215	Moduli FV terrestri in silicio cristallino (c-Si) – Qualificazione del progetto e omologazione	Comprende test per cicli termici, umidità e congelamento, sollecitazioni meccaniche e resistenza a torsione e grandine. La certificazione standard utilizza una pressione di 2.400 Pa. I moduli in luoghi con forti nevicate possono essere testati in condizioni 5.400 Pa più rigide.
IEC 61646	Moduli fotovoltaici terrestri a film sottile- Qualificazione del progetto e omologazione	Molto simile alla certificazione IEC 61215, ma un test aggiuntivo considera specificamente il degrado aggiuntivo dei moduli a film sottile.
EN / IEC 61730 La	Qualifica di sicurezza del modulo fotovoltaico	parte 2 della certificazione definisce tre diverse classi di applicazione: – Classe di sicurezza O – Applicazioni ad accesso limitato. – Classe di sicurezza II – Applicazioni generali. – Classe di sicurezza III – Applicazioni a bassa tensione (BT).
IEC 60364-4-41	Protezione contro le scosse elettriche	Sicurezza del modulo valutata in base a: – Durabilità. – Elevata rigidità dielettrica. – Stabilità meccanica. – Spessore e distanze dell'isolamento.
IEC 61701	Resistenza alla nebbia salina e alla corrosione	Necessaria per i moduli installati vicino alla costa o per applicazioni marittime.
IEC 61853-1	Test delle prestazioni dei moduli fotovoltaici e classificazione energetica	Descrive i requisiti per la valutazione delle prestazioni dei moduli fotovoltaici in termini di potenza nominale in un intervallo di irraggiamento e temperature.
IEC 62804	Test di durabilità della tensione di sistema per moduli c-Si	Descrive la procedura di test e le condizioni per condurre un test PID. Il modulo fotovoltaico sarà considerato resistente al PID se la perdita di potenza è inferiore al 5% dopo il test.
Conformità europea (CE)	Il prodotto certificato è conforme ai requisiti di salute, sicurezza e ambiente dell'Unione Europea.	Obbligatorio nello Spazio economico europeo.
UL 1703	Conformarsi al National Electric Code, alla Sicurezza sul lavoro e alla salute e alla National Fire Prevention Association. I moduli offrono almeno il 90% della potenza nominale del produttore.	Underwriters Laboratories Inc. (UL) è una società indipendente di certificazione dei test di sicurezza dei prodotti con sede negli Stati Uniti che è un laboratorio di test riconosciuto a livello nazionale (NRTL). La certificazione da parte di un NRTL è obbligatoria negli Stati Uniti.

Sviluppi tecnologici

La tecnologia dei moduli fotovoltaici si sta sviluppando rapidamente. Mentre la ricerca e sviluppo è concentrata su un'ampia gamma di approcci tecnici diversi, gli effetti di questi approcci si concentrano sul miglioramento dell'efficienza del modulo o sulla riduzione dei costi di produzione.

Negli anni recenti sono stati apportati miglioramenti incrementali alle celle c-Si convenzionali. Uno di questi miglioramenti è l'incorporamento dei contatti frontali in scanalature microscopiche tagliate al laser al fine di ridurre l'area superficiale dei contatti, e quindi aumentare l'area della cella che è

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 22 di 84

esposta alla radiazione solare. Allo stesso modo, un altro approccio prevede il passaggio dei contatti frontali lungo il retro della cella e quindi direttamente attraverso la cella fino alla superficie anteriore.

Diversi tipi di celle solari hanno intrinsecamente prestazioni migliori in diverse parti dello spettro solare. Pertanto, un'area di interesse della ricerca applicata è la diversificazione di celle di diversi tipi. Con una specifica combinazione di celle solari impilate (sufficientemente trasparenti) può essere prodotta una cella “multi-giunzione” che offre prestazioni migliori su una gamma più ampia dello spettro solare. Questo approccio è portato all'estremo nelle celle III-V (che prendono il nome dai rispettivi gruppi di elementi nella tavola periodica) in cui vengono utilizzati i materiali ottimali per ciascuna parte dello spettro solare. Le celle III-V sono estremamente costose, ma hanno raggiunto efficienze superiori al 40 per cento. Approcci meno costosi basati sullo stesso concetto di base includono celle ibride (costituite da celle impilate di c-Si e film sottile) e celle a-Si multi-giunzione.

Altre tecnologie emergenti, che non sono ancora pronte per il mercato, ma potrebbero essere di interesse commerciale in futuro, includono le celle sferiche, celle a nastro e celle organiche o sensibili al colorante. Le celle solari sensibili alla tintura hanno recentemente attirato attenzione a causa dei loro bassi costi di produzione e della facilità di fabbricazione. Tuttavia, la loro bassa efficienza e la loro instabilità nel tempo rappresentano ancora un punto debole significativo.

La Figura 4.4 illustra lo sviluppo della ricerca nel campo delle celle FV dal 1975 all'epoca corrente. Va notato come le celle disponibili in commercio, in termini di efficienza, siano ancora significativamente indietro rispetto alle celle ancora in fase di ricerca.

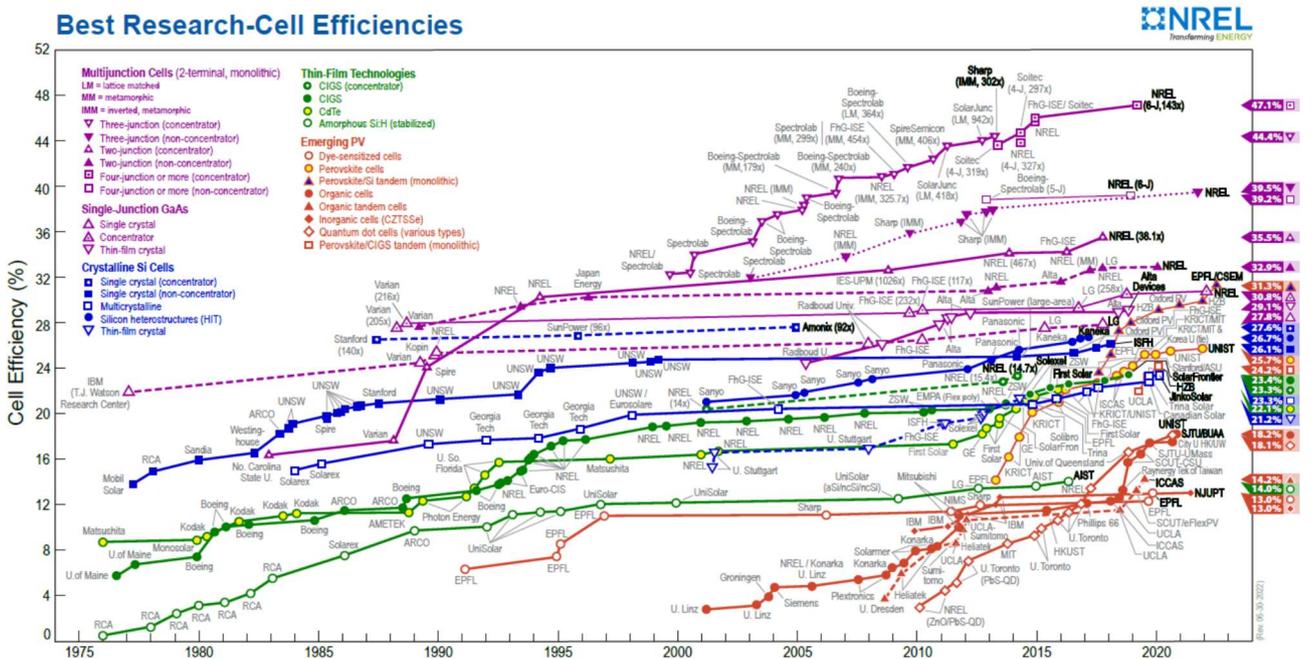


Figura 4.4 – Progressi della ricerca in termini di efficienza delle celle FV (fonte United States National Renewable Energy Laboratory <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies-rev220630.pdf>)

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 23 di 84	

4.3.4 Modalità di posa dei moduli

I moduli fotovoltaici devono essere montati su una struttura che ne assicuri costantemente la corretta orientazione nonché in grado di fornire supporto e protezione strutturali. Gli elementi di ancoraggio possono essere ad orientazione fissa o variabile. Negli schemi a orientazione fissa i moduli sono in genere inclinati rispetto al piano orizzontale al fine di massimizzare la radiazione annuale che ricevono. L'angolo di inclinazione ottimale (tilt) dipende dalla latitudine della posizione del sito. La direzione verso cui è rivolto il sistema (azimut) nell'emisfero nord è convenzionalmente riferita al sud geografico.

In siti con un'alta percentuale di radiazione solare diretta, è possibile utilizzare inseguitori solari (*tracker*) monoassiali o biassiali per aumentare la captazione energetica annuale media totale. I *tracker* seguono il sole nei suoi movimenti giornalieri rispetto all'orizzonte. Queste sono generalmente le uniche parti mobili impiegate in un impianto solare fotovoltaico.

In funzione del sito e delle caratteristiche precise dell'irradiazione solare, i *tracker* possono aumentare il rendimento energetico annuo fino a 30/35 per cento per inseguitori monoassiali e 45 per cento per inseguitori biassiali. Il *tracking* produce anche un plateau di uscita di potenza più regolare. Ciò aiuta a soddisfare la domanda di picco nei pomeriggi, cosa comune nei climi caldi a causa dell'uso di unità di condizionamento dell'aria.

Quasi tutti gli impianti che impiegano sistemi ad inseguimento utilizzano moduli in silicio cristallino (c-Si). Gli aspetti da tenere in considerazione quando si prevede l'impiego di *tracker* includono i seguenti:

Finanziari:

- costi di capitale aggiuntivi per l'approvvigionamento e l'installazione dei *tracker*.
- superficie aggiuntiva necessaria per evitare l'ombreggiatura rispetto a un sistema di inclinazione fissa in campo libero della stessa potenza nominale.
- costi di manutenzione più elevati per la gestione delle parti mobili e dei sistemi di attuazione.

Operativi/gestionali:

- *range angolare di inseguimento solare*: tutti i *tracker* hanno limiti angolari, che variano tra i diversi tipi di prodotto. A seconda dei limiti angolari, le prestazioni energetiche potrebbero essere ridotte.
- *Elevata resistenza al vento e sistemi di sicurezza*: il sistema di controllo automatizzato dei *tracker*, oltre una data soglia di velocità del vento, attiva la modalità di sicurezza (*tracker* in posizione orizzontale) per offrire la minore resistenza al vento. Ciò può ridurre il rendimento energetico e quindi i proventi economici della vendita dell'energia nei siti ad alta velocità del vento.
- *Rapporto di irradiazione diretta / diffusa*: i sistemi ad inseguimenti solare offrono maggiori vantaggi in luoghi con una componente di irradiazione diretta più elevata.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 24 di 84	

4.3.5 Gli inverter

Gli inverter sono dispositivi elettronici che trasformano l'elettricità DC generata dai moduli fotovoltaici in elettricità AC, idealmente conforme ai requisiti della rete locale. Gli inverter possono anche svolgere una varietà di funzioni per massimizzare la produzione dell'impianto. Queste vanno dall'ottimizzazione della tensione tra le stringhe e dal monitoraggio delle prestazioni delle stringhe alla registrazione dei dati, nonché fornire protezione e isolamento in caso di disfunzioni della rete o dei moduli fotovoltaici.

Gli inverter funzionano utilizzando dispositivi di commutazione dell'alimentazione, come tiristori o Transistor bipolare a gate isolato (IGBT), per suddividere la corrente continua in impulsi che riproducano la forma d'onda sinusoidale in CA.

Esistono due grandi classi di inverter: inverter centrali e inverter di stringa. La configurazione dell'inverter centrale rimane la prima scelta per molti impianti fotovoltaici di media e grande scala. In questa soluzione, numerosi moduli sono collegati in serie per formare una stringa e le stringhe vengono quindi collegate in parallelo all'inverter.

Gli inverter centrali offrono alta affidabilità e semplicità di installazione. Tuttavia, presentano degli svantaggi: aumento delle perdite di disaccoppiamento dei moduli (*mismatching*) e incapacità di “seguire” il punto di massima efficienza energetica (MPPT⁷) per ogni stringa.

Ciò può causare problemi per le configurazioni che hanno angoli di inclinazione e orientamento multipli, o che soffrono di ombreggiatura o utilizzano tipi di modulo diversi.

4.3.6 I criteri di dimensionamento: potenza DC e AC

In un impianto fotovoltaico l'energia elettrica prodotta dai moduli in corrente continua (DC, dall'inglese *Direct Current*) viene convertita in corrente alternata (AC, dall'inglese *Alternating Current*) che può quindi essere immessa nella rete nazionale per gli usi comuni.

Pertanto, la taglia di un impianto fotovoltaico viene definita da due valori di potenza:

1. Potenza nominale lato DC: è definita come la somma delle potenze di targa di ciascun modulo installato. La potenza di targa non è un valore costante che il pannello produce, ma è la potenza che potrebbe produrre in condizioni standard, cioè se la sua temperatura fosse di 25°C e l'irraggiamento solare sul piano dei moduli fosse di 1000 W/m² (definite Standard Test Condition, STC).
2. Potenza nominale lato AC: è la massima potenza che il distributore concede in immissione nella sua rete. Corrisponde alla somma delle potenze di targa degli inverter utilizzati per la conversione da DC a AC.

⁷ Il rilevamento del punto di massima potenza è la capacità dell'inverter di regolare la sua impedenza in modo che la stringa sia a una tensione operativa che massimizza la potenza in uscita.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 25 di 84	

Le due potenze non hanno necessariamente lo stesso valore e, al fine di sfruttare al meglio gli impianti e di ottimizzare il rientro degli investimenti, la buona norma prevede che la potenza nominale DC sia maggiore di quella AC. Le motivazioni sono spiegate qui di seguito.

Da quanto definito al precedente punto 1, risulta che essendo temperatura dell'aria ed irraggiamento continuamente variabili sia per questioni stagionali che per fattori momentanei, come ad esempio la presenza di nuvole, anche la potenza DC di un impianto fotovoltaico è continuamente variabile. Più in generale la potenza diminuisce con l'aumentare della temperatura ed aumenta con il crescere dell'irraggiamento. Per quelli che sono i valori di temperatura ed irraggiamento nelle zone di interesse per l'installazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto, così come ricavati da diversi Database Meteo, il valore di potenza nominale DC potrebbe essere raggiunto solo pochi giorni all'anno, tipicamente in primavera, quando si può riscontrare la combinazione standard di 25°C e 1000 W/m². Inoltre, tale valore perdurerebbe per poche ore a cavallo di mezzogiorno, perché l'aumento di potenza prodotta comporta anche un aumento di temperatura del modulo stesso che ne fa automaticamente diminuire la potenza prodotta (cosiddetta curva a campana della potenza prodotta dal fotovoltaico). Far corrispondere le due potenze, DC e AC, significherebbe installare degli inverter che lavorerebbero alla loro potenza nominale per poche ore all'anno e rimarrebbero sottosfruttati, quindi inefficienti, per gran parte del tempo restante. Le buone regole di ingegneria prevedono invece di installare più potenza nominale DC, in modo da far lavorare in modo più efficiente gli inverter anche nelle cattive stagioni o nelle ore in cui l'irraggiamento è più basso, accettando eventuali tagli di potenza prodotta nelle giornate in cui questa può raggiungere effettivamente il valore nominale DC. Il taglio di potenza viene effettuato dagli inverter stessi che pertanto non fanno mai sfiorare la potenza istantanea nominale AC concordata con il Distributore. Bilanciando in modo opportuno il rapporto tra la potenza DC e quella AC, il risultato è quello di produrre più MWh (Energia) a parità di potenza istantanea immessa e migliorando così il rientro dell'investimento.

4.4 Impatto e sostenibilità ambientale

La tecnologia fotovoltaica ha un impatto ambientale molto contenuto se paragonato a quello delle fonti energetiche convenzionali (fonte ENEA-CNR). Le analisi di impatto legate alla produzione elettrica da fotovoltaico mostrano valori di gran lunga inferiori a quelli del ciclo combinato a gas naturale (che, dal punto di vista ambientale, rappresenta la migliore tecnologia fossile disponibile). Uno studio RSE sul *Life Cycle Assessment* degli impianti fotovoltaici, condotto secondo la ISO 14040, evidenzia che non esiste una combinazione tecnologia/installazione migliore per tutti gli impatti analizzati, ma che in generale l'utilizzo di fotovoltaico presenta dei vantaggi in termini ambientali rispetto alle tecnologie fossili. Il consumo di materie prime per la tecnologia fotovoltaica è relativo alla fase di costruzione di celle e moduli (soprattutto silicio) ed è tollerabile anche per installazioni fotovoltaiche molto più ampie di quelle attuali. La produzione di rifiuti invece è relativa: alla fase di costruzione di celle e moduli, ed è molto contenuta; alla fase di recupero e riciclaggio a fine vita, che è regolamentata dal D.Lgs. 49/2014 sui RAEE che ha recepito la Direttiva Europea

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 26 di 84	

2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche. Al fine di finanziare l'attività di recupero, trattamento e smaltimento dei RAEE da parte dei produttori di apparecchiature elettriche ed elettroniche, il prezzo di vendita dei pannelli fotovoltaici incorpora un eco-contributo che non costituisce voce di profitto e deve essere quindi applicato a tutta la filiera (Produttore, Importatore, Grossista, Venditore, Installatore, fino all'Utente Finale).

Inoltre, nell'impiego della tecnologia fotovoltaica non si fa ricorso all'utilizzo della risorsa idrica né vengono provocate emissioni di CO₂ o di altri inquinanti. La principale contropartita per la tecnologia fotovoltaica riguarda il consumo di suolo, nel caso delle installazioni a terra, peraltro mitigabile adottando adeguate scelte progettuali (criteri di localizzazione in aree antropizzate, preservazione del suolo agrario, adozione di opportune interdistanze tra le stringhe, salvaguardia della vegetazione erbacea, solo per citarne alcuni). Come più oltre indicato, l'impiego dei *tracker* monoassiali in luogo delle strutture fisse si rivela preferibile ai fini della salvaguardia delle caratteristiche agronomiche dei suoli.

Le emissioni CO₂/MWh evitate sono correlate alla mancata produzione energetica da fonti fossili, riferibile al mix del parco di generazione italiano, in conseguenza della produzione da fonte fotovoltaica.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 27 di 84	

5 INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED URBANISTICO

5.1 Ubicazione dell'area di intervento

Il proposto impianto fotovoltaico ricade nella porzione sud-occidentale della regione storica del *Marghine*, in territorio comunale di Macomer, a circa 2,5 km a sud del centro abitato e immediatamente ad ovest dell'agglomerato industriale di *Tossilo*.

Nel complesso, l'area di progetto, ricadente nell'Altopiano di Abbasanta, presenta un'orografia pianeggiante, con altitudine media compresa tra i 421 e i 433 m s.l.m. Le condizioni di utilizzo dell'ambito di riferimento si caratterizzano per la presenza di terreni seminativi, prati artificiali e pascoli.

Sotto il profilo urbanistico, con riferimento allo strumento urbanistico comunale vigente (PUC di Macomer), l'Area interessata dal campo solare risulta inclusa nella zona omogenea E1 – Aree caratterizzate da una produzione agricola tipica e specializzata.

Nella cartografia ufficiale, il Sito è individuabile nella Sezione in scala 1:25.000 della Carta Topografica d'Italia dell'IGMI Serie 25 Foglio 498 Sez. III “Macomer”. Rispetto al tessuto edificato degli insediamenti abitativi più vicini (Elaborato GREN-FVM-TA1), il sito di intervento presenta, indicativamente, la collocazione indicata in *Tabella 5.1*.

Tabella 5.1 – Distanze dell'impianto rispetto ai più vicini centri abitati

Centro abitato	Posizionamento rispetto al sito	Distanza dal sito (km)
Macomer	N	2,5
Birori	N-NE	4,8
Borore	SE	2,2

L'area in esame è agevolmente raggiungibile percorrendo la limitrofa Ex SS 131, parallela all'attuale SS 131 Carlo Felice e connessa a quest'ultima nel territorio comunale di Borore a meno di 2 km a sud dell'area di progetto. A nord, l'area di impianto è raggiungibile percorrendo la SP 43, che attraversa il centro urbano di Macomer e si collega alla Ex SS 131, o attraverso la SS129 che si collega allo stesso asse stradale nel punto di intersezione con la SP43 a sud est del centro urbano di Macomer.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 28 di 84

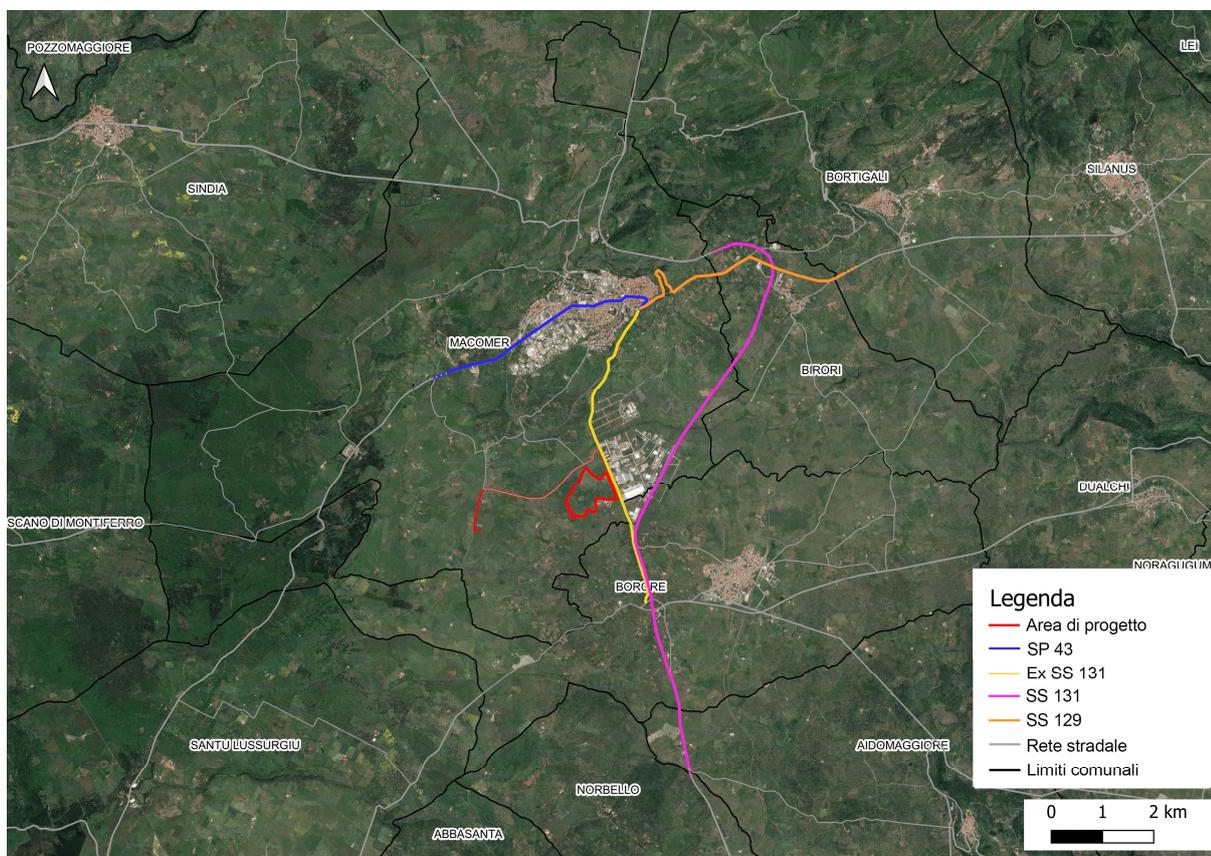


Figura 5.1 – Ubicazione dell’area in progetto (in rosso) rispetto ai principali assi viari

Al Nuovo Catasto terreni del Comune di Macomer l’area è individuata in base ai seguenti riferimenti:

Comune	Foglio	Particella
Macomer	52	10
Macomer	56	49
Macomer	56	50
Macomer	56	90
Macomer	56	98
Macomer	56	99

5.2 Inquadramento urbanistico e norme di tutela del territorio

5.2.1 Inquadramento urbanistico – Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) di Macomer

Allo stato attuale, nel settore di progetto, lo strumento urbanistico vigente è il Piano di Urbanistico Comunale di Macomer (PUC), la cui ultima variante è stata adottata in via definitiva con Del. C.C.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 29 di 84	

N. 38 del 29/07/2019 e pubblicato nel BURAS N. 38 del 29/08/2019.

L’area di sedime dei moduli fotovoltaici ricade in zona E1 – Aree caratterizzate da una produzione agricola tipica e specializzata.

Il cavidotto interrato 36 kV, impostato pressoché per l’intero tracciato su viabilità esistente, oltre che la zona E1, interessa anche la Zona E5 – Aree marginali per attività agricola nelle quali viene ravvisata l’esigenza di garantire condizioni adeguate di stabilità ambientale.

5.2.2 *Analisi dei vincoli di carattere paesaggistico-ambientale*

Nell’ottica di fornire una rappresentazione d’insieme dei valori paesaggistici, gli elaborati grafici GREN-FVM-TA2, GREN-FVM-TA3, GREN-FVM-TA4 e GREN-FVM-TA8, mostrano, all’interno dell’area vasta oggetto di analisi – estesa ben oltre l’area del sito di progetto – la distribuzione delle seguenti aree vincolate per legge, interessate da dispositivi di tutela naturalistica e/o ambientale, istituiti o solo proposti, o, comunque, di valenza paesaggistica:

- I Fiumi, i torrenti, i corsi d’acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775, e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna (Art. 142 comma 1 lettera c) D.Lgs. 42/04);
- Fiumi, torrenti e corsi d’acqua e relative sponde o piedi degli argini, per una fascia di 150 metri ciascuna, e sistemi fluviali, ripariali, risorgive e cascate, ancorché temporanee (art. 17 lettera h N.T.A. P.P.R.);
- Zone gravate da usi civici;
- Buffer di salvaguardia di 100 metri da manufatti di valenza storico-culturale di cui all’art. 48 delle N.T.A. del PPR;
- Componenti di paesaggio con valenza ambientale di cui agli articoli 22-27 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano Paesaggistico Regionale;
- Aree a rischio idrogeologico perimetrate dal PAI;
- Fasce fluviali perimetrate nell’ambito del Piano Stralcio Fasce Fluviali;
- Aree con presenza di specie animali tutelate da convenzioni internazionali;
- *Important Bird Areas* (IBA);
- ZPS CEE 79/409;
- Aree incendiate;
- Aree sottoposte a vincolo idrogeologico ai sensi del Regio Decreto n. 3267 del 30 dicembre 1923.

Come si evince dall’esame della cartografia allegata, l’area del campo solare non risulta interessata

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 30 di 84	

dalla presenza di dispositivi di tutela paesaggistica. Con riferimento alle opere accessorie, in particolare al cavidotto 36 kV, in riferimento alla sovrapposizione parziale dello stesso con la fascia di tutela di 150m del “Riu Mene” (art.142 del D.Lgs. 42/04) e con le fasce di tutela di 150m del “*Riu Mene*” (art. 17 comma 3 lettera h N.T.A. P.P.R.), si possono ragionevolmente applicare le disposizioni dell’Allegato A al DPR 31/2017, che esclude dall’obbligo di acquisire l’autorizzazione paesaggistica alcune categorie di interventi, tra cui le opere interrato.

Per quanto riguarda il tracciato cavidotto 36 kV, ivi impostato su viabilità esistente, si evidenzia la sovrapposizione con buffer di salvaguardia di 100 metri da manufatti di valenza storico-culturale di cui all’art. 48 delle N.T.A. del PPR; nella fattispecie è interessato, marginalmente, il buffer della “Tomba dei Giganti Figurachida” e il buffer della “Tomba dei Giganti di Solene”.

Infine, con riferimento ad altri ambiti meritevoli di tutela, si evidenzia che:

- il sito non è inserito nel patrimonio UNESCO né si caratterizza per rapporti di visibilità con aree UNESCO presenti territorio regionale;
- l’area non ricade all’interno di aree naturali protette istituite ai sensi della Legge 394/91 ed inserite nell’Elenco Ufficiale delle Aree Naturali Protette né interessa, direttamente o indirettamente, zone umide di importanza internazionale designate ai sensi della Convenzione di Ramsar, aree SIC o ZPS istituite ai sensi delle Direttive 92/43/CEE e 79/409/CEE;
- il sito non è prossimo a parchi archeologici o strettamente contermini ad emergenze di rinomato interesse culturale, storico e/o religioso;
- il progetto è esterno agli Ambiti di paesaggio costiero del PPR ed inserito entro aree cartografate ad utilizzo agroforestale dal PPR (artt. 28-30 N.T.A.) e seminaturali (artt. 25,26 e 27 N.T.A. P.P.R.);
- non si prevedono impatti su tipologie vegetazionali di interesse conservazionistico né effetti significativi non mitigabili sulla componente arborea; le aree oggetto di intervento non ospitano né habitat di interesse comunitario o altre cenosi rare. Per quanto attiene le zone umide interne (bacini di raccolta delle acque meteoriche) si attueranno azioni di valorizzazione e potenziamento ecologico al fine di incrementare la complessità ecologica stessa delle due esistenti pozze idriche, a favore della biodiversità vegetale e soprattutto animale.

5.3 Inquadramento geologico generale

Nel rimandare alla consultazione dell’Elaborato progettuale GREN-FVM-RP4 per quanto attiene alla caratterizzazione geologica e geotecnica del sito, si riportano di seguito le principali conclusioni dello Studio specialistico a firma dei geologi Mauro Pompei e Maria Francesca Lobina.

L’area in oggetto ricade nella sub-regione del Marghine: quest’area sin dal Terziario è stata interessata dai movimenti tettonici distensivi legati all’apertura del bacino balearico ed alla rotazione

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 31 di 84	

del blocco sardo-corso e che, in Sardegna, ha avuto come conseguenza più evidente la formazione della Fossa Sarda, una vasta fossa tettonica che si estende in direzione NW-SE dal *Golfo dell'Asinara* sino al *Golfo di Cagliari*.

Durante il Pliocene medio-superiore ed il Pleistocene, la Sardegna viene nuovamente interessata da importanti eventi tettonici distensivi come conseguenza dell'apertura del Mar Tirreno, portando ad un'intensa attività vulcanica caratterizzata da un ampio spettro composizionale, all'interno del quale dominano per abbondanza magmi basaltici ad affinità alcalina e tholeitica, messi in posto sotto forma di estesi flussi basaltici al di sopra delle litologie mioceniche. Gli edifici e le espressioni morfologiche, molto varie, connesse con questa attività si trovano disperse in gran parte della Sardegna ed in particolare nel Marghine, dove affiorano i prodotti del vulcanismo più recente, rappresentati da vasti plateaux e coni di scorie basaltici ad affinità alcalina e transizionale. I prodotti di questa attività vulcanica sono principalmente rappresentati da colate laviche che costituiscono attualmente altopiani posti a quote diverse a causa di processi erosivi che hanno determinato l'inversione del rilievo.

Il generale sollevamento recente dell'isola e l'erosione che ha significativamente interessato le coperture ignimbriche e sedimentarie oligo-mioceniche, hanno favorito la deposizione delle colate nelle paleovalli, tale per cui attualmente costituiscono i settori in rilievo, come gli altopiani basaltici di Campeda e Abbasanta, che caratterizzano il paesaggio del Marghine.

Sotto l'aspetto geologico e morfologico, quindi, la regione mostra presenta una limitata variabilità: il substrato comprende litologie esclusivamente vulcaniche, ricoperte dai depositi sedimentari riconducibili al modellamento dei versanti durante il Quaternario e dai prodotti pedogenici.

L'altopiano si trova nella parte ribassata di un importante faglia con direzione OSO-ENE responsabile della formazione della vicina catena del Marghine. Le lave basaltiche hanno la caratteristica di essere, al momento della messa in posto, molto fluide pertanto di norma vanno a colmare paleodepressioni lasciando alla sommità una morfologia tabulare. Proprio un settore nord dell'altopiano basaltico di Abbasanta, che si presenta come un vasto tavolato basaltico formatosi attraverso centri di emissione prevalentemente lineari, ospiterà l'impianto fotovoltaico in parola.

Il raffreddamento della lava basaltica, avvenuto dopo la sua messa in posto, ha prodotto una fratturazione verticale sub-ortogonale che ha isolato grossi blocchi a forma di colonne più o meno regolari, ben visibile ai bordi dell'espandimento, oppure lungo le principali incisioni vallive. Talora la fratturazione ha dato luogo a blocchi subsferoidali.

Il passaggio tra colate successive, spesso, è segnato da livelli argillosi anche molto arrossati, questi sono interpretabili o come paleosuoli o più spesso come porzioni scoriacee delle parti periferiche delle colate: tali scorie sono caratterizzate da notevole bollosità per degassificazione del magma, essendo meno cristallizzate si alterano più facilmente.

Nel Quaternario recente si sono completati i fenomeni di modellamento dei versanti, con l'accumulo

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 32 di 84

dei depositi detritici. Dai rilievi vulcano-tettonici appena sollevati si sono quindi innescati i fenomeni di erosione, trasporto e sedimentazione e i detriti così formati si sono accumulati al piede dei versanti, hanno colmato concavità del terreno oppure si sono accumulati nei fondi valle.

In linea di massima i meccanismi di accumulo nel territorio di Tossilo, ove è ubicato l'intervento in progetto, non sono stati particolarmente significativi in ragione soprattutto delle forme pianeggianti, per cui hanno interessato pressoché esclusivamente la zona montana e pedemontana.

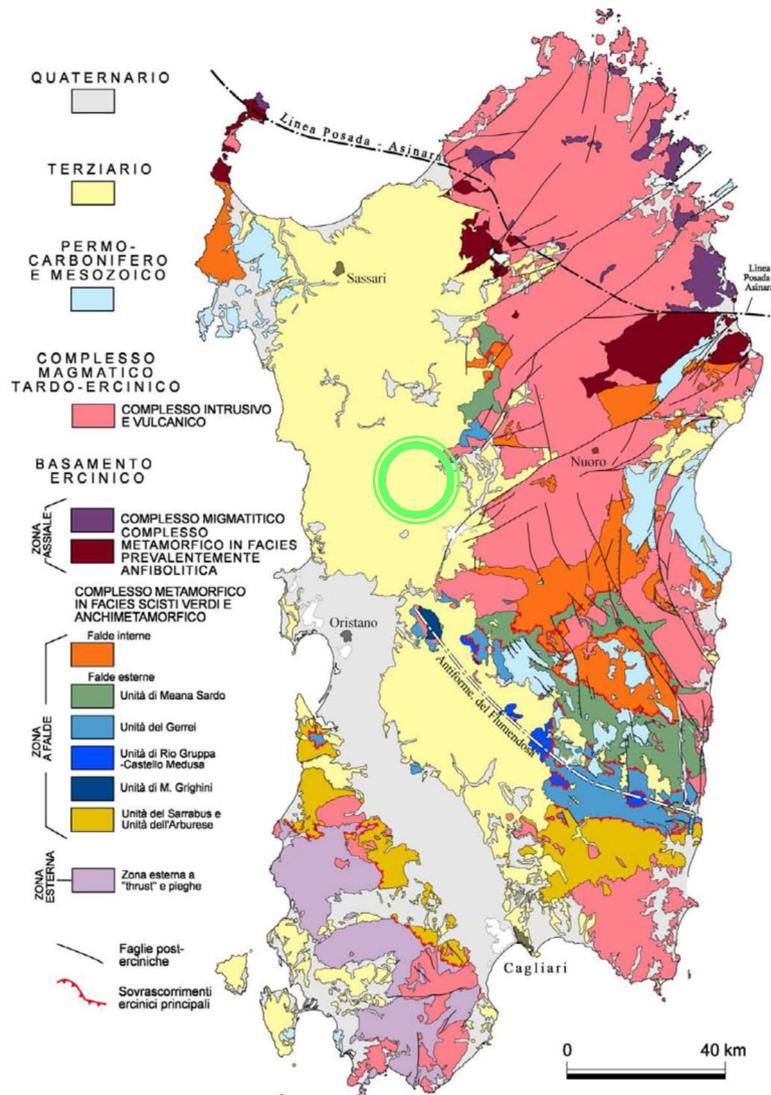
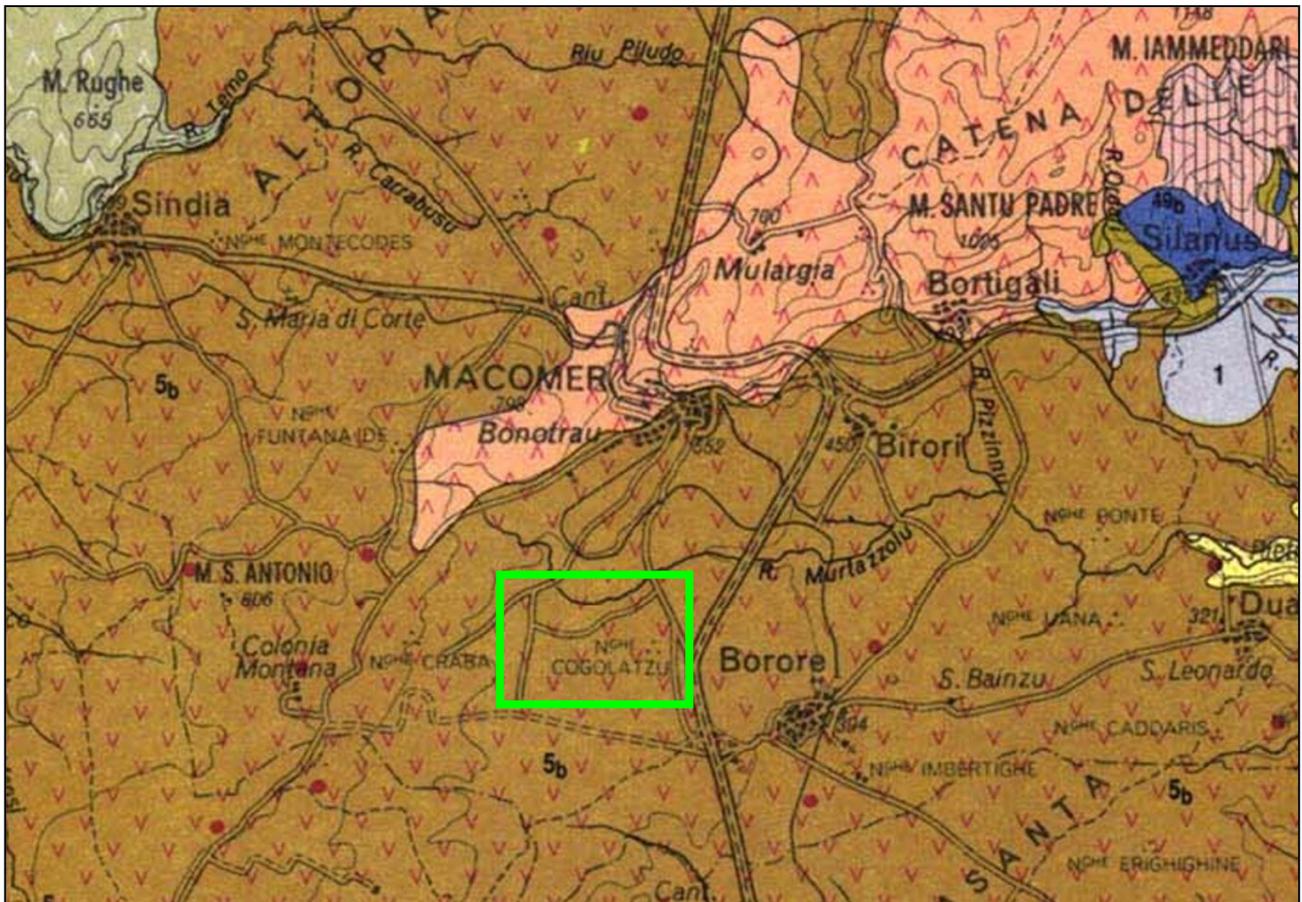


Figura 5.2 – Principali elementi strutturali del basamento ercinico sardo (estratto da “Guida all’escursione nel Basamento ercinico della Sardegna centro meridionale”, a cura di A. Funedda e P. Conti, 2011).

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 33 di 84	



- 1] Ghiaie, sabbie, limi e argille sabbiose dei depositi alluvionali, colluviali, eolici e litorali, travertini – *Olocene*.
- 5b] Basalti alcalini e transizionali, basaniti trachibasalti e hawaiiiti, talora con noduli peridotitici; andesiti basaltiche e basalti subalcalini – *Pliocene- Pleistocene*.
- 11] Rioliti, riolaciti, daciti e subordinatamente comenditi, in espandimenti ignimbrici, cupole di ristagno e rare colate, a cui si associano prodotti freatomagmatici; talora livelli epiclastici intercalati – *Oligocene sup. Miocene inf. Medio*.
- 12] andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinità thoeilitica e calcalcalina, talora brecciati, in colate, cupole di ristagno – *Oligocene sup. – Miocene inf.*

Figura 5.3 – Inquadramento geologico del settore (fuori scala). Stralcio dalla Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000 a cura del Comitato per il coordinamento della Cartografia Geologica e Geotematica della Sardegna

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 34 di 84	

6 CONFIGURAZIONE GENERALE DELL’IMPIANTO

6.1 Criteri di scelta del sito

I principali criteri di scelta perseguiti per l’individuazione del sito, in coerenza con il quadro normativo nazionale e regionale, sono stati i seguenti:

- Individuazione di zone del territorio esterne ad ambiti di particolare rilevanza sotto il profilo paesaggistico-ambientale;
- compatibilità delle pendenze del terreno rispetto ai canoni richiesti per l’installazione di impianti fotovoltaici che impiegano la tecnologia degli inseguitori monoassiali;
- opportuna distanza da zone di interesse turistico e dai centri abitati;
- rispondenza del sito alle seguenti caratteristiche richieste dalla tipologia di impianto in progetto:
 - a. **Radiazione solare diretta al suolo.** È la grandezza fondamentale che garantisce la produzione di energia durante il periodo di funzionamento dell’impianto.
 - b. **Area richiesta.** La dimensione dell’area richiesta per un impianto da 35,30 MW_P (nominale lato DC) è essenzialmente determinata dal numero di *tracker* da installare poiché le “*power station*” e i vari sistemi ausiliari occupano un’area relativamente modesta se paragonata a quella del “*solar field*”. Nel caso specifico, l’interdistanza tra le file di *tracker* è stata ottimizzata in accordo con le indicazioni fornite dalla casa costruttrice degli inseguitori monoassiali;
 - c. **Pendenza del terreno massima accettabile.** Sotto il profilo generale, la pendenza massima accettabile del terreno deve valutarsi sia nell’ottica di minimizzare gli ombreggiamenti reciproci tra le file di *tracker* sia in rapporto alle stesse esigenze di un’appropriata installazione degli inseguitori.
 - d. **Connessione alla rete elettrica nazionale.** Data la potenza prevista, l’impianto dovrà essere connesso alla rete elettrica nazionale da una linea a 36kV. Per evitare ingenti costi di connessione, che si ripercuoterebbero direttamente sul costo di produzione dell’energia elettrica, la distanza del sito dalla più prossima Stazione RTN è ridotta al minimo.

I terreni in agro del Comune di Macomer (NU) rispondono pienamente ai criteri sopra individuati. Se ne riportano di seguito le caratteristiche peculiari:

- **Superficie.** L’estensione complessiva è pari a circa 52 ettari e risulta omogenea sotto il profilo delle condizioni di utilizzo.
- **Ostacoli per la radiazione solare.** Non sono stati riscontrati elementi morfologici che possano ostacolare la radiazione diretta utile, data la significativa distanza dalle più prossime colline e la modesta altezza dei rilievi di questa zona. Tale circostanza consente di ipotizzare un orizzonte libero nella modellizzazione del sistema FV per il calcolo dell’energia prodotta attesa.
- **Strade di collegamento.** Il sito si trova a ovest della SS EX 131, entro un terreno limitrofo alla

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 35 di 84	

zona industriale di Macomer-Tossilo. La viabilità esistente risulta idonea al transito di mezzi di trasporto di beni e materiali per le attività di cantierizzazione dell'intervento.

- **Vegetazione.** All'interno dell'area di intervento si riscontrano in prevalenza aree quali *seminativi in aree non irrigue, prati artificiali, aree con vegetazione rada e aree a pascolo naturale* che sono superfici destinate prevalentemente al pascolo del bestiame domestico bovino. Di fatto, come meglio descritto nelle allegate relazioni specialistiche, si tratta di suoli soggetti a preliminare spietramento e successive azioni di rimaneggiamento, aratura, semina per produzione di foraggiere e pascolo di bestiame d'allevamento bovino. Periodicamente alcuni ambiti possono essere lasciati a riposo, cioè non arati e seminati, favorendo così, momentaneamente, la formazione di prati stabili destinati al pascolo.
- **Presenza di zone di interesse naturalistico.** Il sito è ampiamente esterno ad aree di interesse naturalistico.
- **Vincoli paesaggistici.** Non presenti nel sito di intervento.
- **Pendenze del terreno.** Trattasi di aree estremamente regolari e prive di dislivelli significativi.
- **Distanza linea elettrica.** L'impianto presenta una distanza di circa 2,5 km dal sito individuato per la costruzione della futura SE di trasformazione 380/150/36 kV della RTN da inserire in entrata – esce alla linea RTN a 380 kV "Ittiri -Selargius"; inoltre l'intera area, vista la prossimità con l'agglomerato industriale di Tossilo, presenta un'adeguata infrastrutturazione elettrica, relativamente alla rete di trasmissione e distribuzione.
- **Altre caratteristiche.** Le aree agricole in oggetto non sono interessate da reti di irrigazione e risultano caratterizzate da fattori limitanti la produzione agricola, trattandosi di suoli con pietrosità superficiale a tratti elevata e rocciosità affiorante; tali caratteristiche, unitamente alla contiguità con la zona industriale, delineano ottime prospettive di integrazione dei sistemi fotovoltaici nel sito in esame, in una prospettiva di sfruttamento agro-energetico dei terreni.

6.2 Criteri di inserimento territoriale e ambientale

Le scelte adottate ai fini della localizzazione e progettazione della centrale fotovoltaica in esame non contrastano con gli indirizzi normativi emanati dalla Regione Sardegna ai fini di un ottimale inserimento degli impianti nel territorio.

Sotto questo profilo, il progetto si uniforma ai seguenti criteri:

- Il sito individuato non ricade entro ambiti a particolare vulnerabilità sotto il profilo paesaggistico-ambientale; è esclusa in particolare l'interferenza con aree potenzialmente instabili sotto il profilo idrogeologico e/o di interesse sotto il profilo ecologico e naturalistico;
- gli esiti delle ricognizioni sullo stato dei luoghi e la caratterizzazione pedo-agronomica eseguita nell'ambito della progettazione (GREN-FVM-RP6), consentono di affermare che le aree di intervento rivestono un'importanza agricola marginale. Infatti, come riportato nell'Analisi Agro-

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 36 di 84	

pedologica (Elaborato GREN-FVM-RP6), a seguito dei rilevamenti eseguiti sul sito di interesse, è stata stimata una classe di capacità d’uso del suolo compresa tra VI, VII e VIII il cui fattore limitante è associato alla rocciosità affiorante, pietrosità superficiale e alla scarsa profondità. Le restanti superfici per buona parte coltivate vengono classificate in IV/V e in V classe di capacità d’uso per via della moderata profondità dei suoli, una copertura rocciosa inferiore e per le difficoltà di drenaggio.

- La tecnologia prescelta, i moduli, i componenti e le modalità di installazione sono pienamente in linea con lo stato dell’arte e le migliori pratiche rispetto all’installazione di centrali FV “*utility scale*”.
- Le modalità di installazione dei *tracker*, in rapporto alle caratteristiche geologiche-geotecniche del sito, escludono la necessità di realizzare opere di fondazione permanente in cls (plinti), minimizzando la perdita di suolo, il consumo di materiali naturali e le esigenze dei trasporti in fase di cantiere;
- Il progetto incorpora mirate misure di mitigazione visiva, da realizzarsi attraverso la conservazione, ove tecnicamente fattibile, delle siepi già presenti a contorno dei terreni interessati dal progetto e, laddove opportuno, la formazione/rinfoltimento della stessa barriera verde lungo il perimetro dei lotti interessati, costituita da specie arboree e arbustive coerenti con il contesto vegetazionale locale;
- Piena sintonia con le strategie energetiche delineate dai protocolli internazionali per assicurare un adeguato contrasto alle emissioni di CO₂ ed ai cambiamenti climatici in atto;
- Coerenza con le esigenze strategiche nazionali di diversificazione degli approvvigionamenti energetici;
- Grado di innovazione tecnologica, con particolare riferimento alle elevate prestazioni energetiche dei componenti impiantistici adottati.

6.3 Lay-out del sistema fotovoltaico e potenza complessiva

Nell’ottica di pervenire alla determinazione del valore di potenza di connessione richiesta al gestore di rete, si è proceduto, in primo luogo, alla scelta di moduli FV con caratteristiche di potenza di picco in linea con lo stato dell’arte ed alla successiva definizione del layout d’impianto. Quest’ultimo è stato ottimizzato in funzione dell’orientamento dei confini dei terreni interessati, delle soluzioni tipologico-costruttive dei *tracker* monoassiali e delle limitazioni riscontrate all’interno delle superfici di intervento, riferibili in particolare: alla contigua presenza di strade principali, alla presenza di due pozze di accumulo idrico superficiale, che saranno preservate dalle opere, all’orditura delle recinzioni murate a secco, in gran parte salvaguardate dagli interventi.

I *tracker*, disposti secondo un allineamento Nord-Sud, consentono la rotazione dei moduli fotovoltaici da Est a Ovest, per un angolo complessivo di circa 270°.

Ogni *tracker* sarà mosso da un motore elettrico comandato da un sistema di controllo che regolerà la posizione più corretta al variare dell’orario e del periodo dell’anno, seguendo il calendario astronomico solare.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 37 di 84	

L'intera struttura rotante del *tracker* sarà sostenuta da pali infissi nel terreno, costituenti l'unica impronta a terra della struttura. Non è prevista pertanto la realizzazione di fondazioni o basamenti in calcestruzzo, fatte salve diverse indicazioni che dovessero scaturire dalle indagini geologico-geotecniche da eseguirsi in sede di progettazione esecutiva.

L'interdistanza prevista tra gli assi dei *tracker*, al fine di ridurre convenientemente le perdite energetiche per ombreggiamento, sarà di 10,5 metri.

L'altezza delle strutture, misurata al mozzo di rotazione, sarà di circa 2,2 m dal suolo. La profondità di infissione dei profilati in acciaio di sostegno è stimabile in circa 1,50 metri.

L'impianto fotovoltaico sarà composto dall'insieme dei moduli ad alta efficienza contenenti celle al silicio, in grado di trasformare la radiazione solare in corrente elettrica continua, dagli inverter e dai trasformatori elevatori di tensione, che saranno collegati tra di loro e, per ultimo, alla rete mediante dispositivi di misura e protezione.

I pannelli avranno dimensioni indicative 2384 x 1303 mm e saranno incapsulati in una cornice di alluminio anodizzato dello spessore di circa 35 mm, per un peso totale di 37,9 kg ciascuno.

Tenuto conto della superficie utile all'installazione degli inseguitori monoassiali e delle dimensioni standard dei *tracker* (aventi caratteristiche costruttive del modello Comal o similare), l'impianto di produzione presenta le seguenti caratteristiche principali.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 38 di 84

Impianto FV “GR MACOMER”

Modello moduli FV	Canadian Solar CS7N-655MB-AG
Potenza moduli (Wp)	655
Inverter	FS3430K
Potenza inverter (MW)	3,43
n. inverter	8
Distanza E-W tra le file	10,5 m
Distanza N-S tra le file	0.5 m
n. tracker da 2 x 14 moduli	1925
n. totale tracker	1925
n. totale moduli	53900
n. stringhe da 28 moduli	1925
Potenza DC (MWp)	35,30
Potenza nominale AC (MW)	27,44
Potenza apparente AC (MVA)	27,44
Rapporto DC/AC	1,29

La potenza complessiva nominale dell’impianto, considerando n.53.900 moduli da 655 Wp, sarà pertanto di 35,30 MWp mentre la potenza in AC sarà pari a 27,44 MW, con un rapporto AC/DC di circa 1,29.

6.4 Potenzialità energetica del Sito ed analisi di producibilità dell’impianto

6.4.1 Premessa

Ai fini del calcolo preliminare della potenzialità energetica dell’impianto è stato utilizzato il software commerciale PV_{SYST} (versione 7.1), in grado di calcolare l’irraggiamento annuale su una superficie assegnata e la producibilità d’impianto, essendo noti:

1. posizione del sito (coordinate geografiche);
2. serie storiche dei dati climatici del sito da differenti sorgenti meteo (Meteonorm, PVGIS, NASA-SEE, ecc);
3. modelli tridimensionali del terreno e delle strutture in elevazione presenti nel sito;
4. modelli e caratteristiche tecniche dei componenti d’impianto (moduli, inverter, ecc..);
5. tipologia e planimetria dello specifico impianto fotovoltaico.

Il risultato dell’analisi è rappresentato da:

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 39 di 84

- modelli tridimensionali con l'analisi dell'ombreggiamento nell'anno;
- mappe di irraggiamento solare e producibilità annuale e specifica;
- diagramma delle perdite relative ad ogni singola parte costituente l'impianto FV.

6.4.2 I risultati del calcolo

Ai fini del calcolo della potenzialità dell'impianto, e in particolare per la simulazione, sono stati considerati i dati di irraggiamento orario sul piano orizzontale (kWh) e quelli di irraggiamento diretto (DNI) relativi al database meteorologico PVGIS-CMSAF, negli anni compresi tra il 2007 e il 2016.

6.4.2.1 Stima dell'irraggiamento globale ed incidente sul piano dei collettori

A partire dai dati giornalieri e orari della base dati meteo prescelta, sono stati stimati l'irraggiamento globale su piano orizzontale e incidente sul piano dei collettori (kWh/m²) per tutti i mesi dell'anno (Tabella 6.1).

Tabella 6.1 – Irraggiamento Globale Orizzontale ed Irraggiamento Incidente sul piano dei collettori

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
Gen. 16	59.1	26.06	10.84	82.7	79.8	2731	2645	0.906
Feb. 16	82.0	36.38	11.21	108.7	105.6	3623	3518	0.917
Mar. 16	133.1	58.77	12.04	174.2	170.2	5773	5604	0.911
Apr. 16	163.1	67.86	15.50	209.7	205.6	6706	6510	0.879
Mag. 16	205.6	73.39	17.94	271.0	266.6	8322	8079	0.844
Giu 16	231.6	67.16	22.95	309.4	304.9	9289	9028	0.827
Lug. 16	242.5	63.34	25.68	326.9	322.4	9752	9483	0.822
Ago 16	219.8	56.01	25.34	303.2	298.9	9251	8995	0.840
Sett. 16	158.6	52.80	22.83	215.6	211.7	6826	6644	0.873
Ott. 16	114.3	43.29	19.67	157.3	153.4	5051	4912	0.885
Nov. 16	70.5	29.82	15.40	96.1	93.1	3140	3050	0.899
Dic. 16	64.0	27.69	12.38	91.5	88.1	2999	2913	0.902
Anno	1744.1	602.57	17.67	2346.2	2300.5	73464	71381	0.862

Legenda

GlobHor	Irraggiamento orizzontale globale	EArray	Energia effettiva in uscita campo
DiffHor	Irraggiamento diffuso orizz.	E_Grid	Energia immessa in rete
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Indice di rendimento
GlobInc	Globale incidente piano coll.		
GlobEff	Globale "effettivo", corr. per IAM e ombre		

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 40 di 84

L'andamento dell'indice di rendimento PR è riportato nel grafico in Figura 6.1.

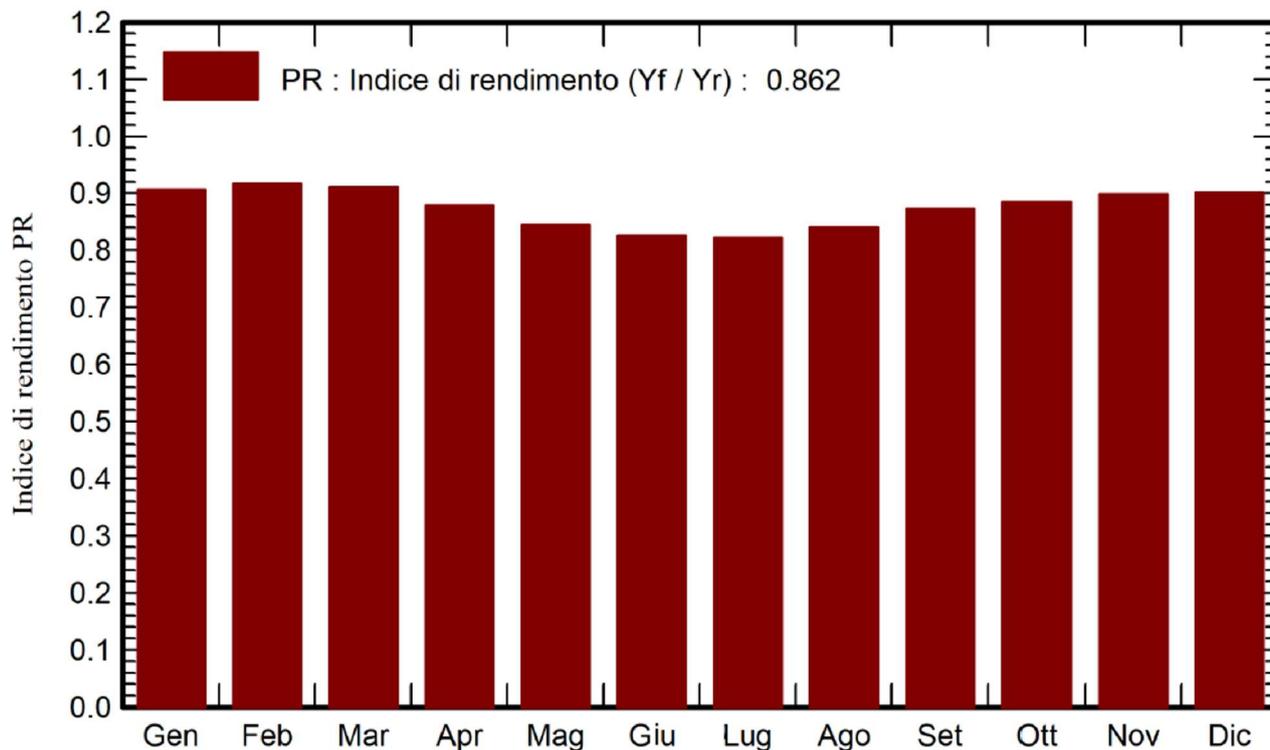


Figura 6.1 – Andamento indice di rendimento

6.4.2.2 Simulazione energetica

Il calcolo dell'energia producibile dall'impianto fotovoltaico è stato condotto considerando tutti gli elementi che influiscono sull'efficienza di produzione a partire dalle caratteristiche dei pannelli FV, dalla disposizione e dal numero dei *tracker* e dalle loro caratteristiche tecnologiche. Il diagramma delle perdite complessive tiene conto di tutte le seguenti voci:

- radiazione solare effettiva incidente sui concentratori, legata alla latitudine del sito di installazione, alla riflettanza della superficie antistante i moduli fotovoltaici;
- eventuali ombreggiamenti (dovute ad elementi circostanti l'impianto o ai distanziamenti degli inseguitori);
- temperatura ambiente e altri fattori ambientali e meteorologici;
- caratteristiche dei moduli: potenza nominale, coefficiente di temperatura;
- perdite per disaccoppiamento o mismatch, ecc.;
- caratteristiche del BOS⁸ : efficienza inverter, perdite nei cavi e nei diodi di stringa.

⁸ BOS (Balance Of System o Resto del sistema): Insieme di tutti i componenti di un impianto fotovoltaico, esclusi i moduli fotovoltaici

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 41 di 84	

La Figura 6.2 riporta le percentuali delle perdite di sistema che sono state considerate nella simulazione, per arrivare a stimare l'effettiva producibilità annuale d'impianto a partire dal valore dell'irraggiamento globale.

Il valore di irraggiamento effettivo sui collettori, conseguente alle modalità di captazione previste (impiego di inseguitori solari monoassiali), è pari a circa 2300,5 kWh/m² anno.

La produzione energetica totale stimata per la centrale in progetto è di seguito riportata.

Produzione totale impianto (MWh/anno)	71.381
Pnom totale (kWp)	27.440
Produzione specifica (kWh/kWp/a)	2.022

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 42 di 84

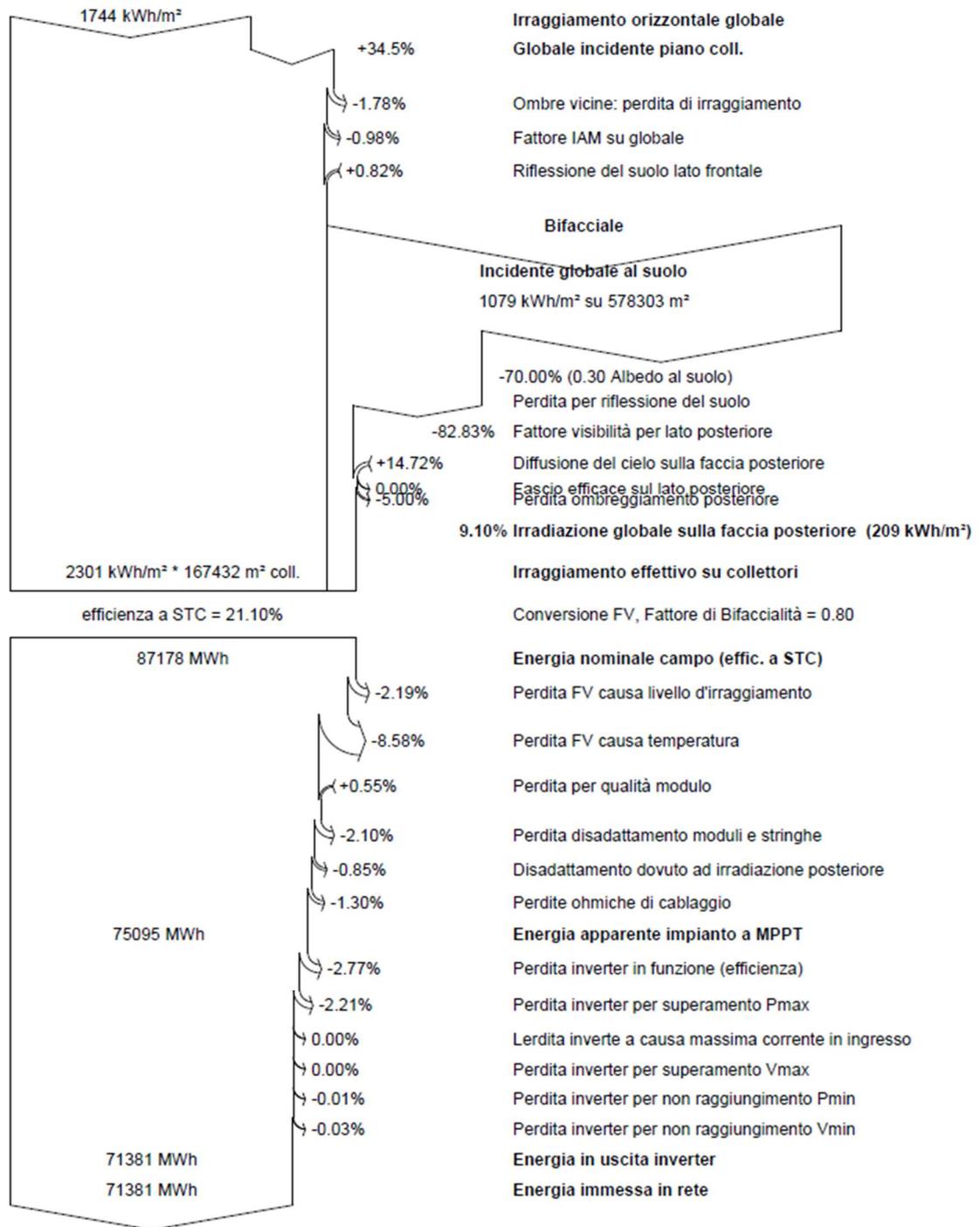


Figura 6.2 – Diagramma delle perdite energetiche

6.5 Principali ricadute ambientali positive

6.5.1 Premessa

Nel rimandare all'allegato Studio di impatto ambientale per approfondimenti sui riflessi ambientali e paesaggistici del progetto, si riepilogano di seguito le principali ricadute ambientali positive

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 43 di 84	

dell’iniziativa, misurabili in termini di contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra, emissioni evitate di composti inquinanti in atmosfera e risparmio di risorse fossili non rinnovabili.

6.5.2 Contributo alla riduzione delle emissioni di CO₂

Come sottolineato in precedenza, la produzione di energia attraverso sistemi fotovoltaici non richiede consumo di combustibili fossili e non determina emissioni di gas serra.

Tale affermazione, tuttavia, può ritenersi del tutto corretta se ci si riferisce esclusivamente alle emissioni imputabili all’energia prodotta dall’impianto durante la sua vita utile. In realtà, un bilancio completo delle emissioni di anidride carbonica imputabili alla realizzazione di un impianto fotovoltaico dovrebbe tenere in considerazione anche le emissioni di CO₂ attribuibili all’energia spesa per la realizzazione dell’impianto, con riferimento al suo intero ciclo di vita, sintetizzabile nelle fasi di realizzazione dei manufatti, trasporto in situ, installazione dell’impianto, esercizio e dismissione al termine della sua vita utile. Sotto questo profilo, peraltro, è acclarato che i sistemi fotovoltaici generano, nel loro arco di vita, una quantità di energia ben superiore a quella necessaria alla produzione, installazione e rimozione.

Un indicatore adeguato ad esprimere questo bilancio e frequentemente utilizzato per valutare i bilanci di energia di sistemi di produzione energetici, è quello che viene definito “*tempo di ritorno dell’investimento energetico*” (TRIE) calcolato come rapporto tra la somma dei fabbisogni energetici imputabili alle singole fasi del ciclo di vita di un impianto e la produzione energetica annua erogabile dall’impianto stesso. Tuttavia, spesso, a causa dell’indisponibilità di informazioni relative ai fabbisogni energetici imputabili soprattutto alle fasi di trasporto, installazione e dismissione, il TRIE viene semplicisticamente calcolato con riferimento alla sola energia di fabbricazione del sistema. In tal caso il TRIE coincide col cosiddetto *energy payback time* ovvero il tempo richiesto dall’impianto per produrre tanta energia quanta ne è stata spesa durante le fasi di produzione industriale dei pannelli fotovoltaici che lo costituiscono.

Numerosi studi dimostrano che il periodo di *pay back time* è sostanzialmente lo stesso sia per le installazioni su edifici che per quelle a terra, e dipende prevalentemente dalla tecnologia e dal tipo di supporto impiegato. Nel caso di moduli cristallini tale tempo è di circa 4 anni per sistemi a tecnologia recente, mentre è di circa 2 anni per sistemi a tecnologia avanzata. Relativamente ad i cosiddetti moduli a “membrana sottile” il *payback* è di circa 3 anni impiegando tecnologie recenti e solamente di un anno circa per le tecnologie più avanzate (Figura 6.3).

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 44 di 84

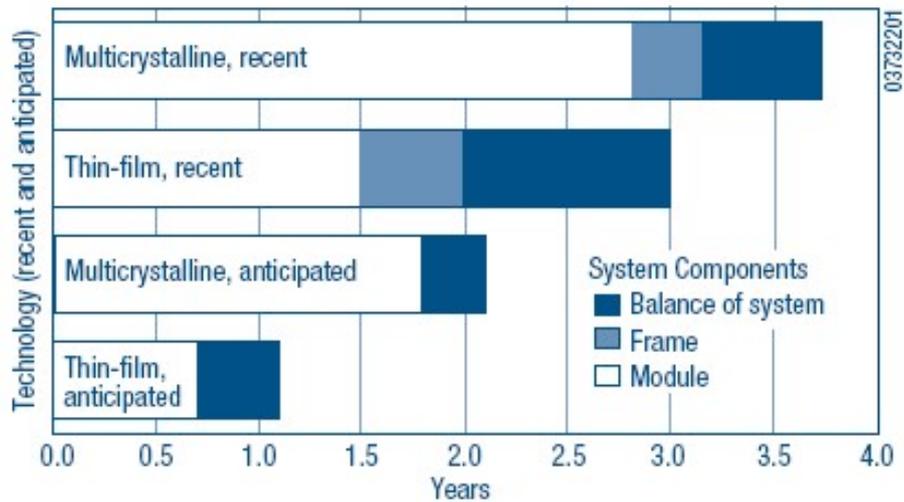


Figura 6.3 – Variazione dell’Energy payback per le diverse tecnologie di sistemi fotovoltaici (Fonte, U.S. Dep. of Energy)

Per quanto sopra, assumendo realisticamente un’aspettativa di vita dell’impianto di circa 30 anni e supponendo un *pay-back time* pari a 4 anni e una producibilità al primo anno di 71.381 MWh, nell’arco della sua vita utile l’impianto in esame sarebbe in grado di produrre all’incirca $71.381 \times (30 - 4) = 1.855.906,00$ MWh di energia netta, a meno delle perdite di efficienza. Assumendo conservativamente una perdita di efficienza pari a 1% ogni anno, tale produzione ammonterebbe a circa 1.549.682 MWh al netto del TRIE.

Di estrema rilevanza, nella stima delle emissioni evitate da una centrale a fonte rinnovabile, è la scelta del cosiddetto “emission factor”, ossia dell’indicatore che esprime le emissioni associate alla produzione energetica da fonti convenzionali nello specifico contesto di riferimento. Tale dato risulta estremamente variabile in funzione della miscela di combustibili utilizzati e dei presidi ambientali di ciascuna centrale da fonte fossile.

Il vettore elettrico negli usi finali mostra un incremento più rapido del consumo interno lordo di energia, indice di un incremento dell’elettrificazione dei consumi destinata a crescere negli anni futuri per perseguire gli obiettivi di neutralità emissiva. Pertanto, i fattori di emissione nel settore della generazione elettrica sono indispensabili per la programmazione e il monitoraggio di iniziative volte alla riduzione delle emissioni di gas serra che coinvolgano il settore elettrico, in relazione alle strategie di sviluppo del settore a livello nazionale e alle misure di risparmio energetico che è possibile adottare anche a livello locale.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 45 di 84	

Sulla base di uno studio ISPRA pubblicato nel 2019⁹, potrebbe ragionevolmente assumersi come dato di calcolo delle emissioni di anidride carbonica evitate il valore di 0,449kg CO₂/kWh, attribuito alla produzione termoelettrica lorda nazionale. Tale dato, risulterebbe peraltro sottostimato se l'impianto fotovoltaico sottraesse emissioni direttamente alle centrali termoelettriche sarde, per le quali l'“emission factor” è valutato in 648 gCO₂/kWh¹⁰.

In base a quest'ultima assunzione, le emissioni di CO₂ evitate a seguito dell'entrata in esercizio dell'impianto possono valutarsi secondo le stime riportate in Tabella 6.2.

Tabella 6.2 – Stima delle emissioni di CO₂ evitate a seguito della realizzazione del proposto impianto Fotovoltaico

Energia totale prodotta al netto del TRIE (MWh)	Emissioni specifiche evitate (*) (tCO ₂ /MWh)	Emissioni evitate nell'arco della vita utile (tCO ₂)
1 549 682	0,648	1 004 194

(*) dato regionale

6.5.3 Emissioni evitate di inquinanti atmosferici

Come espresso in precedenza, il funzionamento degli impianti fotovoltaici non origina alcuna emissione in atmosfera. La fase di esercizio non prevede, inoltre, significative movimentazioni di materiali né apprezzabili incrementi della circolazione di automezzi che possano determinare l'insorgenza di impatti negativi a carico della qualità dell'aria a livello locale.

Per contro, l'esercizio degli impianti FV, al pari di tutte le centrali a fonte rinnovabile, oltre a contribuire alla riduzione delle emissioni responsabili del drammatico progressivo acuirsi dell'effetto serra su scala planetaria, concorre apprezzabilmente al miglioramento generale della qualità dell'aria su scala territoriale. Al riguardo, con riferimento ai fattori di emissione riferiti alle caratteristiche emissive medie del parco termoelettrico Enel¹¹, la realizzazione dell'impianto potrà determinare la sottrazione di ulteriori emissioni atmosferiche, associate alla produzione energetica da fonte convenzionale, responsabili del deterioramento della qualità dell'aria a livello locale e globale, ossia di Polveri, SO₂ e NO_x (Tabella 6.3).

⁹ ISPRA, Rapporti 363/2022. Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico. 15 aprile 2022

¹⁰ PEARS 2016 (https://www.regione.sardegna.it/documenti/1_274_20160129120346.pdf)

¹¹ Rapporto Ambientale Enel 2013

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 46 di 84	

Tabella 6.3 - Stima delle emissioni evitate a seguito della realizzazione della centrale fotovoltaica

Producibilità dell'impianto (kWh/anno)	Parametro	Emissioni specifiche evitate(*) (g/kWh)	Emissioni evitate (t/anno)
71.381.000	PTS	0,045	3,2
	SO ₂	0,969	69,2
	NO _x	1,22	87,1

(*) dato regionale

A questo proposito, peraltro, corre l'obbligo di evidenziare come gli impatti positivi sulla qualità dell'aria derivanti dallo sviluppo degli impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili, sebbene misurati a livello locale possano ritenersi non significativi, acquistino una rilevanza determinante se inquadrati in una strategia complessiva di riduzione progressiva delle emissioni a livello globale, come evidenziato ed auspicato nei protocolli internazionali di settore, recepiti dalle normative nazionali e regionali.

6.5.4 Risparmio di risorse energetiche non rinnovabili

Al pari degli altri impianti alimentati da fonte rinnovabile, l'esercizio della centrale FV in progetto sarà in grado di assicurare un risparmio di fonti fossili quantificabile in circa 13.348 TEP (tonnellate equivalenti di petrolio)/anno, assumendo una producibilità dell'impianto pari a 71.381 MWh/anno ed un consumo di 0,187 TEP/MWh (Fonte Autorità per l'energia elettrica ed il gas, 2008).

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 47 di 84	

7 DESCRIZIONE TECNICA DEI COMPONENTI DELL’IMPIANTO

7.1 Componenti principali e criteri generali di progettazione strutturale ed elettromeccanica

I componenti principali delle opere elettromeccaniche sono i seguenti:

- Moduli fotovoltaici e strutture di sostegno;
- Inverter;
- Interruttori, trasformatori e componenti per la protezione elettrica;
- Cavi elettrici per le varie sezioni in corrente alternata e continua.

I criteri seguiti per la definizione delle scelte progettuali degli elementi suddetti sono principalmente riconducibili ai seguenti:

- dimensionare le strutture di sostegno in grado di reggere il peso proprio più il peso dei moduli e di resistere alle due principali sollecitazioni di norma considerate in questi progetti, per il calcolo delle sollecitazioni agenti sulle strutture;
- definire una configurazione impiantistica tale da garantire il corretto funzionamento dell’impianto FV nelle diverse condizioni di potenza generata e nelle varie modalità previste dal gruppo di condizionamento e controllo della potenza (accensione, spegnimento, mancanza rete del distributore, ecc.);
- limitare le emissioni elettromagnetiche generate dalle parti d’impianto mediante l’utilizzo di apparecchiature conformi alla normativa CEI e l’eventuale installazione entro locali chiusi (e.g. trasformatore elevatore);
- limitare le emissioni elettromagnetiche generate dalle parti di cavidotto percorse da corrente in BT mediante l’interramento degli stessi di modo che l’intensità del campo elettromagnetico generato possa essere considerata sotto i valori soglia della normativa vigente;
- limitare le emissioni elettromagnetiche generate dalle parti di cavidotto percorse da corrente mediante l’utilizzo di cavi di tipo elicordato di modo che l’intensità del campo elettromagnetico generato possa essere considerata sotto i valori soglia della normativa vigente;
- ottimizzare il layout dell’impianto e dimensionare i vari componenti al fine di massimizzare lo sfruttamento degli spazi disponibili e minimizzare le perdite di energia per effetto Joule;
- definire il corretto posizionamento dei sistemi di misura dell’energia elettrica generata dall’impianto fotovoltaico.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 48 di 84	

7.2 Gli inseguitori monoassiali

Di seguito sono descritte le principali caratteristiche tecniche ed i componenti degli inseguitori solari (*tracker*) monoassiali che verranno installati presso l’impianto FV in progetto.

Tutti i componenti e gli elementi strutturali saranno progettati avuto riguardo delle specifiche condizioni ambientali del sito, secondo le disposizioni della normativa vigente.

I moduli FV verranno installati su inseguitori monoassiali con caratteristiche tecniche assimilabili a quelle sviluppate dalla tecnologia Comal Impianti S.r.l. o similare.

La tecnologia dell’inseguimento solare lungo la direttrice Est-Ovest è stata sviluppata al fine di conseguire l’obiettivo di massimizzazione della produzione energetica e le prestazioni tecnico-economiche degli impianti FV sul terreno che impiegano pannelli in silicio cristallino.

Il *tracker* monoassiale, utilizzando particolari dispositivi elettromeccanici, orienta i pannelli FV in direzione del sole lungo l’arco del giorno, nel suo percorso da Est a Ovest, ruotando attorno ad un asse (mozzo) allineato in direzione nord-sud.

I layout sul terreno che impiegano questa particolare tecnologia sono piuttosto flessibili. La più semplice configurazione degli inseguitori è quella che prevede di assicurare che tutti gli assi di rotazione dei *tracker* siano paralleli affinché gli stessi siano posizionati reciprocamente in modo appropriato.

La tecnologia del backtracking, impiegata da Comal Impianti e da altri costruttori, verifica ed assicura che ciascuna stringa nord-sud di pannelli non crei ombreggiamento sulle stringhe adiacenti. Peraltro, è inevitabile che quando l’altezza del sole sull’orizzonte sia estremamente bassa, all’inizio ed al termine di ciascuna giornata, l’ombreggiamento reciproco tra le file di pannelli possa potenzialmente incidere sulla produzione energetica del campo solare.

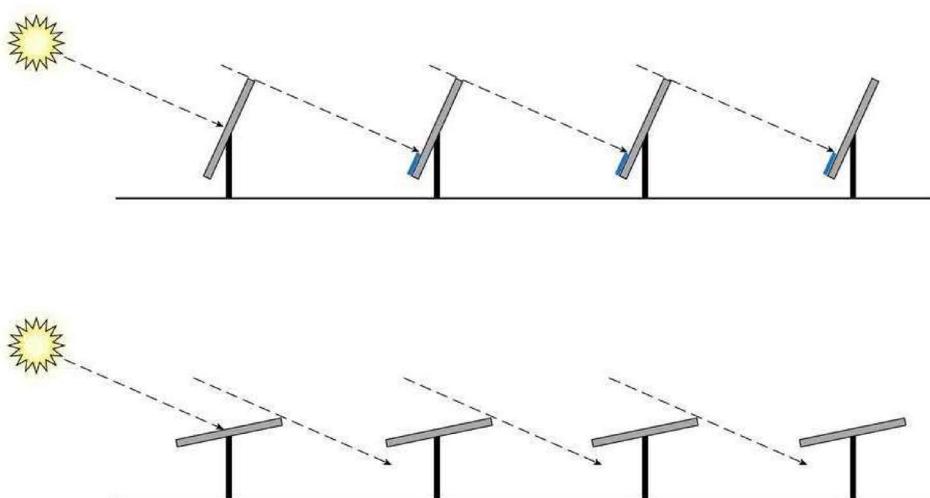


Figura 7.1 – Schema di funzionamento del sistema backtracking

Il backtracking agisce “allontanando” la superficie captante dai raggi solari, eliminando gli effetti

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 49 di 84	

negativi dell'ombreggiamento reciproco delle stringhe e consentendo di massimizzare, in tal modo, il rapporto di copertura del terreno (GCR). Grazie a questa tecnologia, infatti, si può prevedere di ridurre convenientemente l'interdistanza tra i filari. La configurazione semplificata del sistema, rispetto a quella ad inseguimento biassiale, assicura comunque un significativo incremento della produzione energetica (valutabile nel *range* 15÷35%) rispetto ai tradizionali sistemi con strutture fisse ed ha contribuito significativamente alla diffusione di impianti FV “*utility scale*”.

7.2.1 Caratteristiche principali

I principali punti di forza della tecnologia sono di seguito individuati:

- modularità e perfetto bilanciamento delle strutture, tale da non richiedere l'intervento di personale specializzato per l'installazione, assemblaggio o lavori di manutenzione;
- semplicità di configurazione della scheda di controllo: il GPS integrato comunica costantemente la corretta posizione geografica al sistema di controllo per consentire l'inseguimento automatico del sole;
- presenza di snodi sferici autolubrificati a cuscinetti per compensare inesattezze ed errori nell'installazione di strutture meccaniche;
- adozione di sistemi di protezione antipolvere dei motori;
- basso consumo elettrico;
- migliori prestazioni ambientali rispetto alle strutture fisse, assicurando maggiore luce e ventilazione al terreno sottostante.

Nel caso dell'impianto in progetto si prevede l'impiego delle seguenti strutture:

- Struttura 2x14 moduli fotovoltaici da 655 W disposti in *portrait* (18,34 kWp).

Eventuali diverse modalità di installazione dei pannelli fotovoltaici potranno essere valutate nella successiva fase progettuale a seguito di più puntuali riscontri che scaturiranno dall'esecuzione delle indagini geologiche e geotecniche di dettaglio e dei rilievi topografici.

Ciascun inseguitore (vedasi Elaborato GREN-FVM-TP10) sarà composto dei seguenti elementi:

- Componenti meccanici della struttura in acciaio: pali di sostegno (altezza circa 4 m compresa la porzione interrata) e profili tubolari quadrati (le specifiche dimensionali variano in base alle caratteristiche geologico-geotecniche terreno e al vento e sono incluse nelle specifiche tecniche stabilite durante la progettazione esecutiva del progetto). Supporto del profilo e ancoraggio del pannello.
- Componenti asserviti al movimento: teste di palo (per montanti finali e intermedi di cui una supportante il motore). Una scheda di controllo elettronica per il movimento (una scheda può servire 10 strutture). 1 motore (attuatore elettrico lineare (mandrino) AC).
- L'interdistanza Est-Ovest tra i tracker è pari a 10,5 metri.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 50 di 84	

7.2.2 Durata e trattamento protettivo dei componenti in acciaio

Considerando la tabella seguente e la classificazione dell'ambiente corrosivo e considerando una vita utile minima del progetto di 25 anni, i pali della fondazione saranno zincati a caldo secondo EN ISO 1461: 2009, altre parti saranno zincate a caldo o pregalvanizzato (Sendzmir) in funzione delle specifiche definite dal costruttore a seguito degli esiti della progettazione esecutiva.

Categorie ambientali	Possibilità di corrosione	Tipo di ambiente	Perdita del rivestimento $\mu\text{m} / \text{anno}$
C1	Molto basso	Interno: secco	0,1
C2	Basso	interno: condensa occasionale Esterno: zone rurali	0,7
C3	Medio	interno: umidità Esterno: aree urbane	2,1
C4	Alto	interno: piscine, impianti chimici Esterno: atmosfera industriale o marina	3,0
C5	Molto alto	Esterno: atmosfera marina altamente salina o area industriale con climi umidi	6.0

7.2.3 I pali di sostegno

Il palo è tipicamente rappresentato da un profilato in acciaio per massimizzare la superficie di contatto con il terreno; la profondità dipende dal tipo di terreno interessato. Una flangia, ordinariamente da 5 cm, viene utilizzata per guidare il palo con un infissore al fine di mantenere la direzione di inserimento entro tolleranze minime.

Nel caso specifico, ove si riscontri la presenza di un substrato roccioso, si prevedono le seguenti fasi lavorative:

- esecuzione di preforo di profondità 1450 mm e diametro variabile (Z: 130 mm, H: 150 mm),
- infissione del profilo tramite macchina battipalo,
- riempimento del foro con il terreno di risulta della trivellazione costipato. Eventuale esecuzione di collare in boiaccia come rifinitura.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
	CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 51 di 84



Figura 7.2 – Fase di infissione dei pali con profilo omega (fonte Convert)

7.3 Moduli fotovoltaici

Tenuto conto della tipologia di impianto fotovoltaico in oggetto, ai fini della definizione delle scelte progettuali sono stati assunti come riferimento, non vincolante per le successive fasi di progettazione, i moduli FV commercializzati dalla Canadian Solar, società leader nel settore del fotovoltaico, che utilizzano celle assemblate con tecnologia PERC¹² e Tiling Ribbon (TR) ad alta efficienza (21.1%).

Ciascun modulo, realizzato con n. 132 celle [2 x (11 x 6)], presenta le caratteristiche tecniche e dimensionali indicate in Figura 7.3.

¹² PERC: Passivated Emitter and Rear Cell.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 52 di 84

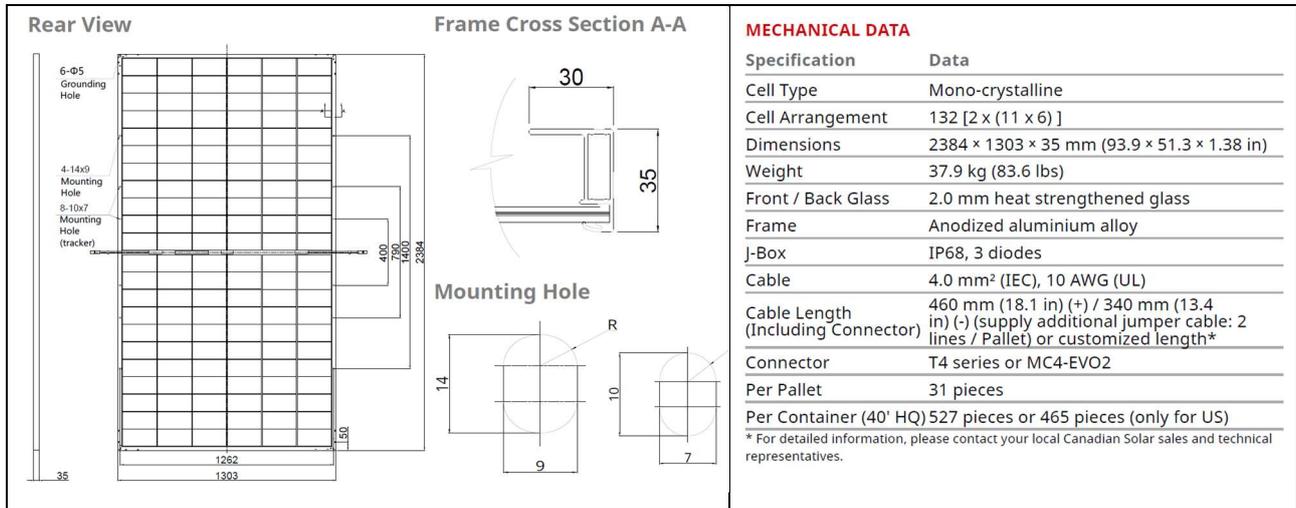


Figura 7.3 - Modulo Fotovoltaico Canadian Solar CS7N-655MB

Le caratteristiche tecniche dei moduli prescelti sono riportate in Tabella 7.1, riferite alle seguenti condizioni ambientali:

- Condizioni Test Standard (STC): Irraggiamento 1000 W/m² con spettro di AM 1,5 e temperatura delle celle di 25 °C.

Tabella 7.1: Dati tecnici Modulo fotovoltaico Canadian Solar CS7N-665MB

Potenza massima (P_{max}) [W _p]	655
Tolleranza sulla potenza [%]	0~+10
Tensione alla massima potenza (V_{mpp}) [V]	38,1
Corrente alla massima potenza (I_{mpp}) [A]	17,20
Tensione di circuito aperto (V_{oc}) [V]	45,2
Corrente di corto circuito (I_{sc}) [A]	18,43
Massima tensione di sistema [V_{dc}]	1500
Coefficiente termico αP_{mpp} [%/°C] (NOCT 46°)	-0,34
Coefficiente termico αV_{oc} [%/°C] (NOCT 46°)	-0,26
Coefficiente termico αI_{sc} [%/°C] (NOCT 46°)	+0,05
Efficienza modulo [%]	21,1
Dimensioni principali [mm]	2384 x 1303 x 35
Numero di celle per modulo	132 [2 x (11 x 6)]

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 53 di 84	

Relativamente agli aspetti concernenti la scelta dei moduli e degli inseguitori monoassiali, atteso che il settore degli impianti fotovoltaici è attualmente caratterizzato da un’elevata e continua innovazione tecnologica, in grado di creare nuovi sistemi con efficienze e potenze nominali sempre crescenti; considerato altresì che la durata complessiva delle procedure autorizzative è, di regola, superiore ai sei mesi, nella fase di progettazione esecutiva dell’impianto è possibile che la scelta ricada su moduli differenti.

È da escludere, peraltro, che dette eventuali varianti determinino sostanziali modifiche al progetto. In questo senso, l’intervento realizzato dovrà risultare coerente con il progetto autorizzato e, relativamente alla potenza nominale complessiva, questa non potrà subire modifiche in aumento rispetto a quella dichiarata in sede di autorizzazione unica.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
	CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 54 di 84

7.4 Schema a blocchi impianto fotovoltaico

L'impianto in progetto può essere rappresentato in modo semplificato considerando lo schema a blocchi in Figura 7.4.

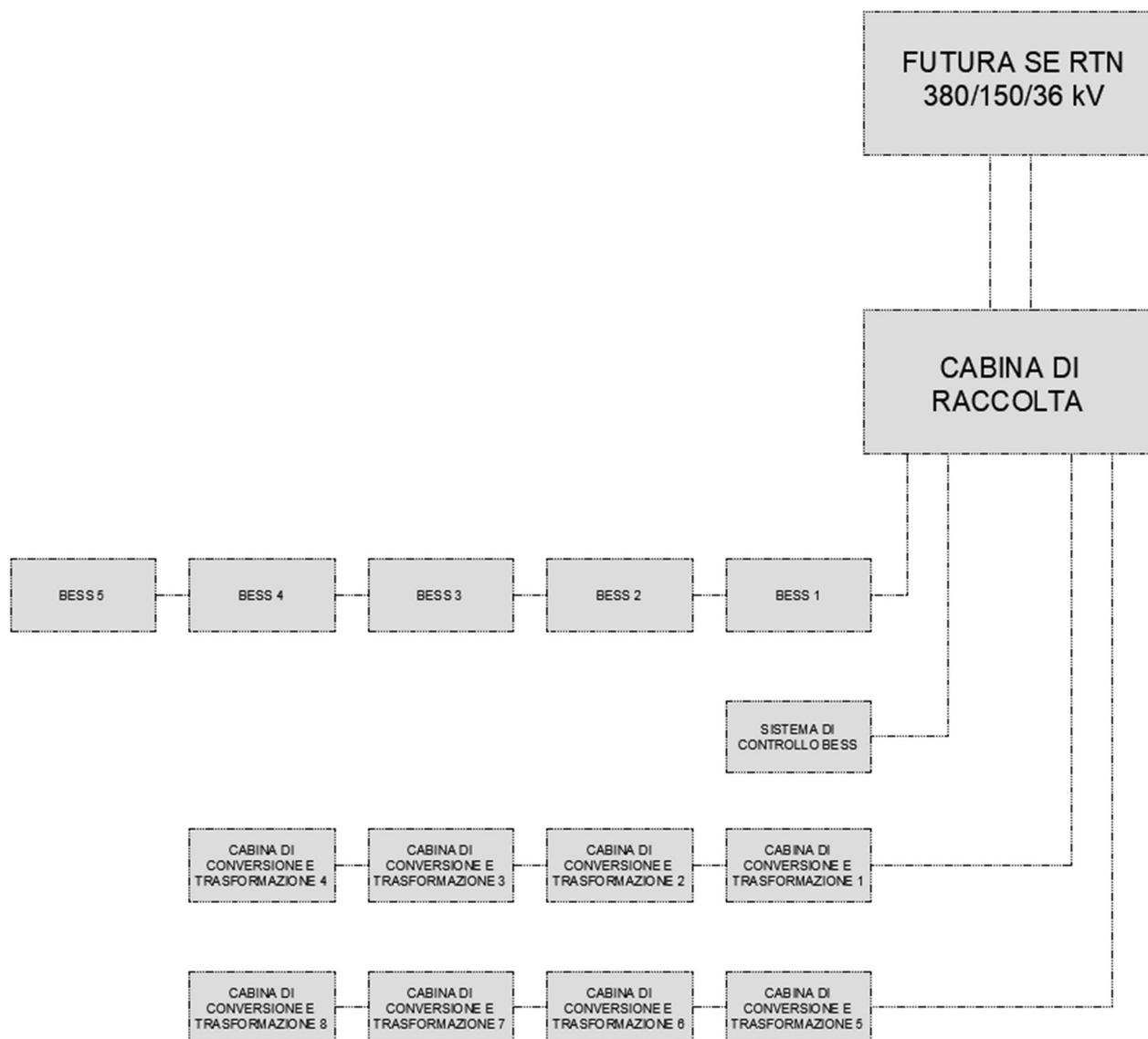


Figura 7.4 - Schema a Blocchi Impianto FV

In particolare, la struttura della distribuzione elettrica è del tipo radiale ed è realizzata, a partire dal punto di connessione alla rete Terna alla tensione di 36kV, collegata all'impianto mediante cavidotti a 36kV che successivamente interconnettono la cabina di raccolta, con le power station e i relativi inverter.

Per maggiori dettagli si rimanda alle planimetrie riportate negli Elaborati GREN-FVM-TP7/TP12 ed allo schema unifilare di impianto (Elaborato GREN-FVM-TP11).

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 55 di 84	

7.5 Quadro Elettrico a 36kV – Cabina di raccolta

Nella cabina di raccolta, installata nei confini perimetrali dell’impianto fotovoltaico, è prevista la realizzazione di un quadro a 36kV, collettore di impianto, che raccoglie le linee in arrivo a 36kV dalle cabine di conversione e trasformazione dei vari cluster oltre ad alimentare i servizi ausiliari per l’area del campo fotovoltaico.

Le caratteristiche tecniche del quadro a 36kV sono le seguenti:

- Tensione nominale/esercizio: 36-40,5 kV
- Frequenza nominale: 50 Hz
- N° fasi: 3
- Corrente nominale delle sbarre principali: fino a 2500 A
- Corrente di corto circuito: 25 kA/1s o 31,5 kA/0,5s
- Potere di interruzione degli interruttori alla tensione nominale: 25-31,5 kA
- Tenuta arco interno: 25 kA/1s o 31,5 kA/0,5s

Il quadro e le apparecchiature posizionate al suo interno dovranno essere progettati, costruiti e collaudati in conformità alle Norme CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), IEC (*International Electrotechnical Commission*) in vigore.

Ciascun quadro elettrico sarà formato da unità affiancabili, ognuna costituita da celle componibili e standardizzate, in esecuzione senza perdita di continuità d’esercizio secondo IEC 62271-200, destinato alla distribuzione d’energia a semplice sistema di sbarra.

Il quadro sarà realizzato in esecuzione protetta e sarà adatto per l’installazione all’interno in accordo alla normativa CEI/IEC. La struttura portante dovrà essere realizzata con lamiera d’acciaio di spessore non inferiore a 2 mm.

Il quadro dovrà garantire la protezione contro l’arco interno sul fronte del quadro fino a 40kA per 0.5 s (CEI-EN 60298).

Le celle saranno destinate al contenimento delle apparecchiature di interruzione automatica con 3 poli principali indipendenti, meccanicamente legati e aventi ciascuno un involucro isolante, di tipo “sistema a pressione sigillato” (secondo definizione CEI 17.1, allegato EE), che realizza un insieme a tenuta riempito con esafluoruro di zolfo (SF6) a bassa pressione relativa, delle parti attive contenute nell’involucro e di un comando manuale ad accumulo di energia tipo RI per versione SF1, (tipo GMH elettrico per SF2).

Gli interruttori saranno predisposti per ricevere l’interblocco previsto con il sezionatore di linea, e potranno essere dotati dei seguenti accessori:

- comando a motore carica molle;

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 56 di 84	

- comando manuale carica molle;
- sganciatore di apertura;
- sganciatore di chiusura;
- contamanovre meccanico;
- contatti ausiliari per la segnalazione di aperto - chiuso dell'interruttore.

Il comando degli interruttori sarà del tipo ad energia accumulata a mezzo molle di chiusura precaricate tramite motore, ed in caso di emergenza con manovra manuale.

Le manovre di chiusura ed apertura saranno indipendenti dall'operatore.

Il comando sarà a sgancio libero assicurando l'apertura dei contatti principali anche se l'ordine di apertura è dato dopo l'inizio di una manovra di chiusura, secondo le norme CEI 17-1 e IEC 56.

Il sistema di protezione associato a ciascun interruttore cluster è composto da:

- trasduttori di corrente di fase e di terra (ed eventualmente trasduttori di tensione) con le relative connessioni al relè di protezione;
- relè di protezione con relativa alimentazione;
- circuiti di apertura dell'interruttore.

Il sistema di protezione sarà costituito da opportuni TA di fase, TO (ed eventualmente TV) che forniscono grandezze ridotte a un relé che comprende la protezione di massima corrente di fase almeno bipolare a tre soglie, una a tempo dipendente, le altre due a tempo indipendente definito. Poiché la prima soglia viene impiegata contro il sovraccarico, la seconda viene impiegata per conseguire un intervento ritardato e la terza per conseguire un intervento rapido, nel seguito, per semplicità, ci si riferirà a tali soglie con i simboli:

- I> (sovraccarico);
- I>> (soglia 51, con ritardo intenzionale);
- I>>> (soglia 50, istantanea);
- 67 protezione direzionale.

La regolazione della protezione dipende dalle caratteristiche dell'impianto dell'Utente. I valori di regolazione della protezione generale saranno impostati dall'Utente in sede di progetto esecutivo

Sono previste inoltre le seguenti protezioni:

- massima tensione (senza ritardo intenzionale) (soglia 59);
- minima tensione (ritardo tipico: 300 ms) (soglia 27);
- massima frequenza (senza ritardo intenzionale) (soglia 81>);

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 57 di 84

- minima frequenza (senza ritardo intenzionale) (soglia 81<);
- massima tensione omopolare V0 (ritardata) (soglia 59N).

7.6 Cavi di distribuzione dell'energia a 36kV

Per l'interconnessione delle Cabine di conversione e trasformazione e per la connessione con il quadro della cabina di raccolta verranno usati cavi del tipo ARG7H1RX 36kV forniti nella versione tripolare riunito ad elica visibile (Figura 7.5).



Figura 7.5 - Cavo del tipo ARG7H1RX tripolare ad elica visibile

I cavi sono isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC, con le seguenti caratteristiche:

- Cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: alluminio, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore: estruso (solo cavi U₀/U ≥ 6/10 kV)
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G7 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo (solo cavi U₀/U ≥ 6/10 kV)
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità Rz
- Colore: rosso

La tipologia di posa prevalente prevista è quella a trifoglio con cavi direttamente interrati in trincea schematizzata in Figura 7.6.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 58 di 84	

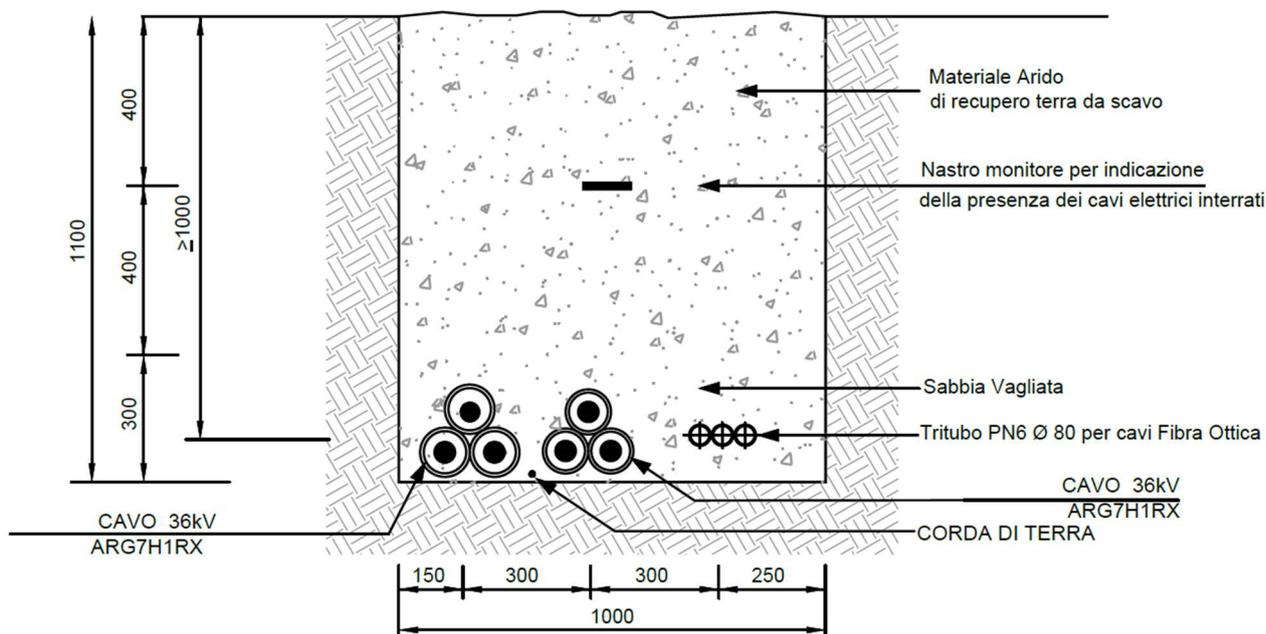


Figura 7.6 – Tipico modalità di posa cavo 36 kV

La profondità media di interramento (letto di posa) sarà di 1,1 / 1,2 metri sotto il suolo; tale profondità potrà variare in relazione al tipo di terreno attraversato. Saranno inoltre previsti opportuni nastri di segnalazione. Normalmente la larghezza dello scavo della trincea è limitata entro 1 metro salvo diverse necessità riscontrabili in caso di terreni sabbiosi o con bassa consistenza. Il letto di posa sarà costituito da un letto di sabbia vagliata.

Nello stesso scavo, potrà essere posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati.

Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata e saranno protetti e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto e le aree interessate saranno risistemate nella condizione preesistente.

Altre soluzioni particolari, quali l'alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera od in tubazioni di PVC della serie pesante o di ferro, potranno essere adottate per attraversamenti specifici.

Per eventuali incroci e parallelismi con altri servizi (cavi di telecomunicazione, tubazioni etc), saranno rispettate le distanze previste dalle norme, tenendo conto delle prescrizioni che saranno dettate dagli Enti proprietari delle opere interessate e in accordo a quanto previsto dalla Norma CEI 11-17.

7.7 Unità di conversione e trasformazione

La realizzazione dell'impianto fotovoltaico prevede l'impiego di n. 8 Unità di conversione e

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 59 di 84	

trasformazione con inverter per la conversione DC/AC di potenza 3430 kW e con trasformatori elevatori per la trasformazione a 36kV di potenza 4000 kW.

Le caratteristiche tecniche principali degli inverter selezionati, riferibili al modello HEMK 645V – FS3430K, sono riportate nel prospetto seguente con riferimento a un modello commerciale non vincolante per le scelte esecutive:

	FRAME 1	FRAME 2
REFERENCE	FS2285K	FS3430K
OUTPUT		
AC Output Power(kVA/kW) @50°C ^[1]	2285	3430
AC Output Power(kVA/kW) @40°C ^[1]	2365	3550
Max. AC Output Current (A) @40°C	2117	3175
Operating Grid Voltage(VAC) ^[2]	645V ±10%	
Operating Grid Frequency(Hz)	50Hz/60Hz	
Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEE519	
Power Factor (cosine phi) ^[3]	0.5 leading ... 0.5 lagging adjustable / Reactive Power injection at night	
INPUT		
MPPT @full power (VDC) @35°C ^[4]	913V-1500V	
MPPT @full power (VDC) @50°C ^[4]	913V-1310V	
Maximum DC voltage	1500V	
Number of PV inputs ^[2]	Up to 36	
Number of Freemaq DC/DC inputs ^[5]	Up to 6	
Max. DC continuous current (A) ^[5]	2645	3970
Max. DC short circuit current (A) ^[5]	4000	6000
EFFICIENCY & AUXILIARY SUPPLY		
Efficiency (Max) (η)	98.81%	98.87%
Euroeta (η)	98.43%	98.60%
Max. Power Consumption (KVA)	8	10
CABINET		
Dimensions [WxDxH] (ft)	12 x 7 x 7	
Dimensions [WxDxH] (m)	3.7 x 2.2 x 2.2	
Weight (lb)	12125	12677
Weight (kg)	5500	5750
Type of ventilation	Forced air cooling	
ENVIRONMENT		
Degree of protection	NEMA 3R - IP55	
Permissible Ambient Temperature	-35°C to +60°C / >50°C Active Power derating	
Relative Humidity	4% to 100% non condensing	
Max. Altitude (above sea level)	2000m; >2000m power derating (Max. 4000m)	
Noise level ^[6]	< 79 dBA	
CONTROL INTERFACE		
Communication protocol	Modbus TCP	
Plant Controller Communication	Optional	
Keyed ON/OFF switch	Standard	
PROTECTIONS		
Ground Fault Protection	GFDI and Isolation monitoring device	
General AC Protection	Circuit Breaker	
General DC Protection	Fuses	
Overvoltage Protection	AC, DC Inverter and auxiliary supply type 2	
CERTIFICATIONS		
Safety	UL1741, CSA 22.2 No.107.1-16, UL62109-1, IEC62109-1, IEC62109-2	
Compliance	NEC 2017 / IEC	
Utility interconnect	EEE 1547.1-2005 / UL1741SA-Feb. 2018 / IEC62116:2014	

Le unità saranno caratterizzate da un inverter di potenza di 3430kW, e saranno realizzate in strutture aperte (Figura 7.7).

La power station sarà costituita da:

- n. 1 inverter da 3430 kW;
- n. 1 trasformatore di potenza da 4000 kW;
- n. 1 trasformatore ausiliario con potenza 10/15 kW,

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA	60 di 84

- i quadri elettrici di sezionamento e manovra di BT e a 36kV;
- eventuali accessori e gruppi di misura.

Gli inverter, saranno del tipo sinusoidale IGBT autoregolati a commutazione forzata con modulazione a larghezza di impulsi (PWM - *Pulse Width Modulation*), in grado di operare in modo completamente automatico con MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) indipendenti.



Figura 7.7 – HEMK 645V – FS3430K

In Figura 7.8 si riporta lo schema elettrico per la cabina compatta di conversione e trasformazione.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 61 di 84

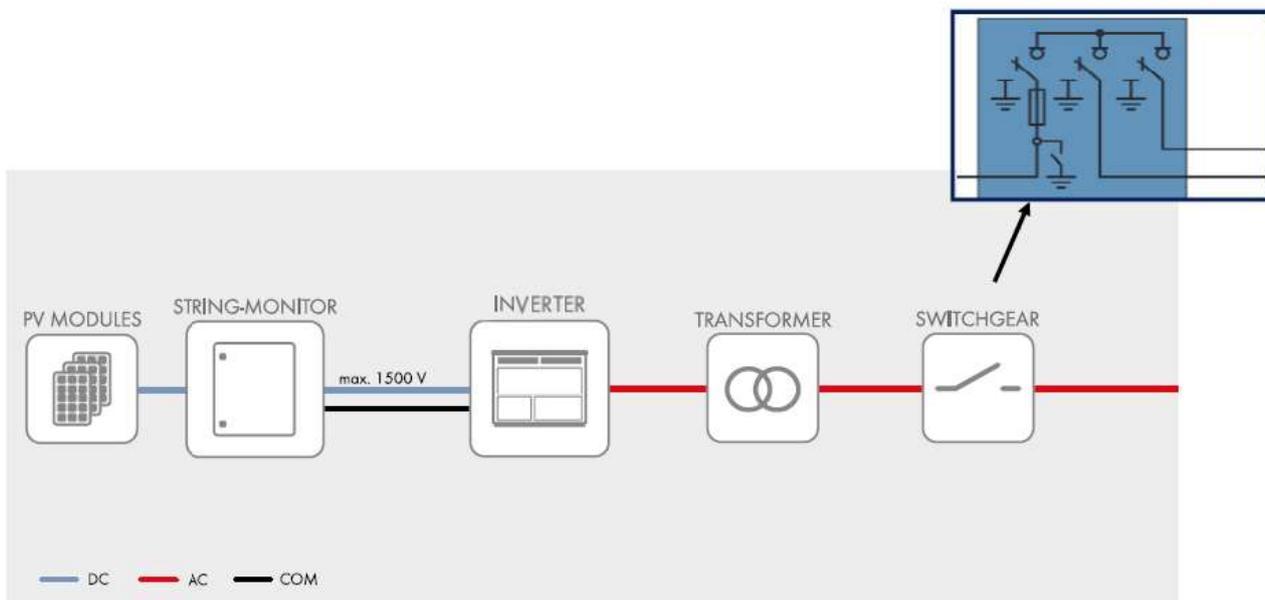


Figura 7.8 – Schema elettrico tipologico dell’Unità di conversione e trasformazione

Le principali caratteristiche tecniche dei trasformatori inclusi nelle unità di conversione e trasformazione sono riportate in Tabella 7.2.

Tabella 7.2 - Dati tecnici trasformatori

Potenza nominale [kVA]	4000
Tensione nominale [kV]	36
Regolazione della Tensione lato AT	± 2,5%
Raffreddamento	ONAN
Isolamento	resina epossidica
Gruppo vettoriale	Dyn11
Tensione corto circuito [Vcc%]	6

7.8 Cavi di distribuzione dell’energia in Bassa Tensione (BT) in c.a. e c.c.

7.8.1 Cavi lato c.a. bassa tensione

Per la distribuzione in BT saranno utilizzati cavi aventi le seguenti caratteristiche: cavo unipolare/multipolare FG16R16 per energia isolato in gomma etilenpropilenica ad alto modulo di qualità G16 Tensione nominale U₀/U: 0,6/1 k, sotto guaina di PVC, ovvero cavi del tipo FG7OR Tensione nominale U₀/U: 0.6/1kV con conduttore in rame, isolamento in gomma EPR e guaina in PVC, conforme a norma CEI 20-22 e CEI 20-34.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 62 di 84	

I circuiti di sicurezza saranno realizzati mediante cavi FTG10(O)M1 0,6/1 KV - CEI 20-45 CEI 20-22 III / 20-35 (EN50265) / 20-37 resistenti al fuoco secondo IEC 331 / CEI 20-36 EN 50200, direttiva BT 73/23 CEE e 93/68 non propaganti l'incendio senza alogeni a basso sviluppo di fumi opachi con conduttori flessibili in rame rosso con barriera antifluoco.

7.8.2 Cavi lato a.c in bassa tensione all'interno degli edifici

All'interno degli edifici quali cabine elettriche, sale quadri etc. si utilizzeranno cavi del tipo FG16M16-FG16OM16 0,6/1 kV sono cavi il trasporto di energia, e di segnali. Isolamento in gomma di qualità G16, sotto guaina termoplastica LSOH, qualità M16 a ridotta emissione di gas corrosivi.

Le caratteristiche principali dei cavi FG160M1 FG16OM16 sono:

- Non propagazione della fiamma;
- Non propagazione dell'incendio;
- Bassissima emissione alogeni, gas tossici e corrosivi;
- Zero alogeni.
- Buon comportamento alle basse temperature.

Le caratteristiche funzionali dei cavi FG160M1 FG16OM16 sono:

- Tensione nominale Uo/U:
 - 600/1.000 V c.a.
 - 1.500 V c.c.
- Tensione Massima Um:
 - 1.200 V c.a.
 - 1.800 V c.c.
- Tensione di prova industriale: 4.000 V
- Massima temperatura di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C
- Sforzo massimo di trazione: 50 N/mm² di sezione del rame.
- Raggio minimo di curvatura: 4 volte il diametro del cavo.
- Temperatura minima di posa: 0°C

7.8.3 Cavi lato c.c. bassa tensione

Per collegamenti in c.c. tra i moduli verranno impiegati cavo unipolari adatti al collegamento dei vari

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 63 di 84	

elementi degli impianti fotovoltaici e solari, sigla H1Z2Z2-K con tensione nominale di esercizio: 1.0kV c.a - 1.5kV c.c., Um: 1.800 V c.c., colore guaina esterna Nero o Rosso (basato su RAL 9005 o 3000), isolati con gomma Z2, sotto guaina Z2, con conduttori flessibili stagnati. Non propaganti la fiamma, senza alogeni, a basso sviluppo di fumi e gas tossici e corrosivi.

Per il collegamento dei quadri di stringa agli inverter si utilizzeranno cavi del tipo ARG7OR 0,6/1 kV c.a. 0,9/1,5KV c.c., conduttore in alluminio, corda rigida compatta isolamento classe 2, materiale gomma, qualità G7, guaina riempitiva materiale termoplastico, guaina esterna materiale: pvc, qualità rz, colore: grigio.

7.8.4 Modalità di posa principale cavi b.t.

Tutte le linee di BT verranno posate con interrimento a una quota massima di 60 cm dal piano di calpestio, entro tubo corrugato in PVC posato su un letto in sabbia vagliata. Le condutture interrate saranno rese riconoscibili mediante un nastro per segnalazione cavi elettrici.

7.9 Quadri elettrici BT lato c.a.

I quadri elettrici saranno realizzati con struttura in robusta lamiera di acciaio con un grado di protezione IP55. I quadri elettrici di BT c.a. dovranno avere le caratteristiche riportate in Tabella 7.3.

Tabella 7.3 - Dati tecnici Quadri Elettrici BT c.a.

Tensione nominale [V]	690
Tensione esercizio [V]	400
Numero delle fasi	3F + PE
Livello nominale di isolamento tensione di prova a frequenza industriale per 1 min verso terra e tra le fasi [kV]	2,5
Frequenza nominale [Hz]	50
Corrente nominale sbarre principali.	3200 A

Ciascun quadro elettrico dovrà essere realizzato a regola d'arte nel pieno rispetto delle norme CEI EN 60439-1 (CEI 17-13), la direttiva BT e la direttiva sulla Compatibilità Elettromagnetica.

Ogni quadro dovrà essere munito di un'apposita targa contenente i suoi dati di identificazione, come richiesto dal punto 5.1 della norma 17-13/1.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 64 di 84	

La funzione degli apparecchi deve essere contraddistinta da apposite targhette. Le linee sulla morsettiera d’uscita devono essere numerate per una più agevole individuazione.

7.10 Quadri di campo e di parallelo stringhe lato c.c.

I quadri di campo assicureranno il collegamento elettrico fra le stringhe provenienti dal generatore fotovoltaico ed il gruppo di conversione c.c./a.c. ed includeranno protezioni di stringa e per le sovratensioni atmosferiche.

I quadri saranno dotati di:

- Sezionatore con la funzione di sezionamento sottocarico (IMS).
- Fusibili di stringa con la funzione di protezione dalle sovracorrenti e correnti inverse;
- Eventuali diodi di blocco per la protezione dalle correnti inverse se il fusibile di stringa non ha taglia adeguata a svolgere questa funzione;
- Dispositivo SPD con la funzione di protezione dalle sovratensioni.
- Elementi per il monitoraggio produzione e guasti nelle stringhe.

I quadri elettrici di BT c.c. dovranno avere le caratteristiche riportate in Tabella 7.4.

Tabella 7.4 - Dati tecnici Quadri Elettrici BT c.c.

Tensione nominale [V]	1500V
Tensione esercizio [V]	800-1500V
Numero delle fasi	+/-
Livello nominale di isolamento tensione di prova a frequenza industriale per 1 min verso terra e tra le fasi [kV]	2,5
Frequenza nominale [Hz]	0
Corrente nominale sbarre principali.	3200 A

Il montaggio di ogni componente sarà tale da impedire contatti accidentali con parti in tensione come richiesto dalle norme CEI 17-13. I quadri saranno con grado di protezione esterno IP 66.

La disposizione dei cavi elettrici in arrivo ai suddetti quadri dovrà permettere la facile sostituzione di ogni pannello con il sezionamento di ciascuna stringa, realizzato con sezionatori adatti all’uso fotovoltaico nel numero di uno per ogni stringa. Il fissaggio al suolo sarà tramite supporto dedicato.

I quadri saranno dotati di strumenti per la misura della corrente e della tensione delle stringhe e la temperatura media dei moduli che saranno inviate al sistema di controllo e monitoraggio dell’impianto.

Il collegamento elettrico tra i sottogruppi di moduli fotovoltaici e i rispettivi gruppi di conversione c.c./c.a. verrà realizzato tramite i quadri di parallelo stringhe (QPS) opportunamente dislocati

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 65 di 84	

nell'area oggetto dell'intervento fino al collegamento con gli ingressi agli inverter.

7.11 Misura dell'energia

7.11.1 Aspetti generali

La delibera AEEG 88/09, “Disposizioni in materia di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di generazione”, stabilisce che il responsabile del servizio di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di potenza nominale superiore a 20 kW è il produttore.

Per misurare ai fini fiscali e tariffari l'energia, nell'impianto fotovoltaico si adotteranno sistemi di misura in grado di conteggiare:

- l'energia elettrica prelevata dalla rete;
- l'energia elettrica immessa in rete;
- l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico.

Se l'utente produttore dovesse prendersi la responsabilità dell'installazione e manutenzione del sistema di misura dell'energia prodotta/immessa si dovrà assicurare la conformità ai requisiti indicati nella Norma CEI 0-16.

Il sistema di misura sarà composto da un contatore statico per la misura dell'energia attiva e reattiva trifase, collegato in inserzione indiretta (mediante TV e TA).

I componenti del sistema di misura dovranno essere conformi alle norme CEI di prodotto e garantire il rispetto dei seguenti requisiti funzionali:

1. misura dell'energia attiva e reattiva e della potenza attiva immessa in rete e prelevata dalla rete;
2. rilevazione delle 6 curve di carico (potenza media nei 15') attiva assorbita, reattiva induttiva per energia attiva entrante, reattiva capacitiva per energia attiva uscente, attiva erogata, reattiva induttiva per energia attiva uscente e reattiva capacitiva per energia attiva entrante, con la risoluzione minima di 1 intero e 3 decimali;
3. unità di misura per l'energia attiva (reattiva): kWh (kVARh);
4. unità di misura per la potenza attiva: kW;
5. gestione automatica dell'ora legale;
6. orologio interno del contatore avente i requisiti indicati nella Norma CEI EN 62054-21 per i commutatori orari;
7. Interfaccia ottica per la lettura e/o programmazione locale (conforme alla Norma CEI EN 62056-21) che assicuri una velocità di trasmissione minima di 9600 bit/sec.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 66 di 84	

7.12 Cabine prefabbricate

La cabina di raccolta sarà del tipo prefabbricato delle dimensioni specificate negli elaborati grafici di progetto (Elaborato GREN-FVM-TP17), realizzata con pannelli in calcestruzzo armato e vibrato. La cabina elettrica sarà fornita completa di tinteggiatura interna ed esterna, impermeabilizzazione della copertura e della vasca di fondazione ed infissi secondo unificazione nazionale.

Le dimensioni del locale di consegna consentono l'adozione dello schema di inserimento in entrata-esce.

La cabina sarà equipaggiata con i seguenti elementi.

- n. 1 estintore a polvere da kg. 6, appeso a parete con apposita staffa di sostegno;
- n. 1 lampada di emergenza ricaricabile 2x6W a parete con staffa di sostegno;
- n. 1 guanti isolanti, classe 2/3/4/ con relativa custodia appesa a parete;
- n. 1 pedana isolante 36 kV;
- n. 2 cartelli a tre simboli affisso, con tre rivetti, alla porta di accesso al locale;
- n. 1 cartello di pronto soccorso affisso a parete;
- n. 1 espositore per schemi elettrici di cabina, formato A3, appeso a parete;
- n. 1 staffa di sostegno leva di manovra appesa a parete.

7.13 Software per visualizzazione, monitoraggio, telesorveglianza

Sarà previsto un sistema software per la visualizzazione, il monitoraggio, la messa in servizio e la gestione dell'impianto FV. Mediante un PC collegato direttamente o tramite modem si potrà disporre di una serie di funzioni che informano costantemente sullo stato e sui parametri elettrici e ambientali relativi all'impianto fotovoltaico.

In particolare, sarà possibile accedere alle seguenti funzioni:

- Schema elettrico del sistema;
- Pannello di comando;
- Oscilloscopio;
- Memoria eventi;
- Dati di processo;
- Archivio dati e parametri d'esercizio;
- Analisi dati e parametri d'esercizio.

La comunicazione tra l'impianto fotovoltaico e il terminale di controllo e supervisione avverrà tramite protocolli Industrial Ethernet o PROFIBUS.

L'impianto fotovoltaico sarà dotato infine di un sistema di monitoraggio per l'analisi e la

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 67 di 84	

visualizzazione dei dati ambientali costituito da:

- n. 1 sensore temperatura moduli;
- n. 1 sensore irradiazione solare;
- n. 1 sensore anemometrico;
- schede di comunicazione integrate per l’acquisizione dei dati.

7.14 Impianto di videosorveglianza

L’impianto FV sarà dotato di sistema di videosorveglianza dimensionato per coprire l’intera area di pertinenza dell’impianto e composto da barriere perimetrali a fasci infrarossi, telecamere e combinatori telefonici GSM con modulo integrato.

7.15 Stazione meteorologica

L’impianto verrà dotato di una stazione meteorologica montata ad un’altezza di almeno 10 m, dotata di strumentazione in grado di monitorare:

- temperatura ambiente;
- umidità relativa aria;
- pressione barometrica;
- direzione vento e velocità vento;
- intensità precipitazioni;
- misura scariche atmosferiche con polarità e tipologia della stessa.

I dati rilevati saranno trasmessi al sistema di monitoraggio dell’impianto ed elaborati per verificarne la producibilità.

Inoltre, verranno memorizzati nel lungo periodo al fine di costituire una serie storica di dati utile ai fini assicurativi in caso di malfunzionamento o danneggiamento dell’impianto a causa di eventi atmosferici.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 68 di 84	

8 OPERE ACCESSORIE

8.1 Preparazione dell'area

I terreni asserviti alla realizzazione dell'impianto FV in progetto presentano una conformazione morfologica regolare e tale da non richiedere interventi di livellamento del terreno funzionali all'installazione degli inseguitori solari.

Preventivamente all'installazione degli inseguitori solari sarà richiesta l'eliminazione della vegetazione arboreo-arbustiva interferente con il campo solare. Per la realizzazione dell'opera non si prevede, in ogni caso, l'abbattimento di esemplari arborei spontanei. La perdita della vegetazione sarà mitigata attraverso l'impianto di una barriera verde alto-arbustiva, di mitigazione visiva e con funzione di “fascia tampone”, lungo l'interno perimetro del lotto, per uno sviluppo lineare complessivo di circa 4.500 metri.

8.2 Viabilità di servizio

Ai fini di assicurare un'ottimale costruzione e gestione della centrale fotovoltaica, il progetto ha previsto la realizzazione *ex novo* di una viabilità di servizio funzionale alle operazioni di costruzione ed ordinaria gestione dell'impianto, come mostrato nell'elaborato grafico allegato (Elaborati GREN-FVM-TP8).

L'area sarà accessibile da ingressi posizionati in corrispondenza della viabilità locale e/o delle fasce infrastrutture consortile, come indicato negli Elaborati GREN-FVM-TP8/9.

La carreggiata stradale della viabilità di impianto presenterà una larghezza massima di 4 metri. La massicciata stradale sarà formata da una soprastruttura in materiale arido dello spessore indicativo di 0,20 m circa. Lo strato di fondazione sarà composto da un aggregato che potrà essere costituito da pietrisco e detriti di cava o di frantoio o materiale reperito in sito oppure da una miscela di materiali di diversa provenienza, in proporzioni da stabilirsi in sede di progettazione esecutiva.

Le carreggiate saranno conformate trasversalmente conferendo una pendenza dell'ordine del 1,5% per garantire il drenaggio ed evitare ristagni delle acque meteoriche.

8.3 Recinzioni e cancelli

Al perimetro dell'impianto FV è prevista la realizzazione di una recinzione in rete metallica a maglia romboidale sostenuta da pali infissi in ferro zincato (vedasi particolari nell'Elaborato GREN-FVM-TP9).

I sostegni in ferro zincato, dell'altezza di circa 2,5 metri verranno conficcati nel terreno per una profondità pari a 0,5 m. Questi presenteranno giunti di fissaggio laterale della rete sul palo e giunti in metallo per il fissaggio di angoli retti e ottusi.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 69 di 84	

La recinzione sarà sollevata da terra di 30 cm e dotata, in ogni caso, di un numero adeguato di ponti ecologici, di dimensioni e conformazione tali da non precludere la fruizione dell'area alle specie faunistiche di piccola taglia.

Per l'accesso entro i siti di impianto dovranno realizzarsi dei cancelli realizzati in profilati di acciaio, assiemati per elettrosaldatura, verniciati e rete metallica in tondini di diametro 6 mm con passo della maglia di 15 cm, come da disegno di progetto. Il cancello è costituito da due ante a bandiera di altezza 2,40 m e di larghezza di 2,5 m, per una luce totale di 5 m, completo di paletto di fermo centrale e chiusura a lucchetto.

In alternativa alla tipologia sopra descritta, ove richiesto dalla D.L., i cancelli potranno essere realizzati in profilati scatolari di acciaio, assiemati per elettrosaldatura e successivamente zincati a caldo, con tamponamento delle ante in pannelli grigliati elettrofusi di acciaio zincato (a maglia quadrata di 60 x 60 mm ca costituita da piatti verticali di 25 x 3 mm collegati orizzontalmente da tondi del diametro 5 mm) solidarizzati al telaio mediante bulloneria inamovibile.

In ogni caso le cerniere dovranno essere in acciaio inox ed andranno opportunamente applicate ai pilastri di sostegno (in c.a. o in acciaio).

8.4 Scavi per posa cavidotti

Le operazioni di scavo da attuarsi nell'ambito della costruzione del campo solare devono principalmente riferirsi all'approntamento degli elettrodotti interrati per la distribuzione di impianto in bassa tensione e a 36kV ed alla realizzazione della dorsale di collegamento dalla cabina di raccolta alla futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/150/36 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ittiri -Selargius".

La fase di scavo prevede l'utilizzo di un escavatore a braccio rovescio dotato di benna, che scaverà e deporrà il materiale a bordo trincea; previa verifica positiva dei requisiti stabiliti dal D.M. 120/2017 (*Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164*), il materiale sarà successivamente messo in opera per il riempimento degli scavi, assicurando un recupero pressoché integrale dei terreni asportati.

L'eventuale materiale in esubero stazionerà provvisoriamente ai bordi dello scavo e, al procedere dei lavori di realizzazione dei cavidotti, sarà caricato su camion per essere trasportato all'esterno del cantiere presso centri di recupero/smaltimento autorizzati.

8.5 Interventi di mitigazione e inserimento ambientale

- Creazione di fasce verdi perimetrali: l'intervento consiste nella realizzazione di una fascia alto-arbustiva ed arborescente perimetrale plurispecifica, di larghezza pari a 3 m, a base di essenze autoctone sempreverdi coerenti con il contesto bioclimatico, geopedologico e vegetazionale

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 70 di 84	

dell'area. La struttura e la composizione della fascia è stata impostata per assolvere ad una funzione sia schermante per la mitigazione dell'impatto visivo (effetto barriera sul piano verticale dato in particolare dalle essenze strutturali), sia ad una funzione di miglioramento ecologico, in termini di creazione di nuove zone rifugio, corridoi ecologici ed aree di alimentazione per la fauna (funzione assolta dalle essenze integrative e strutturali baccifere e nettarifere).

- Valorizzazione e potenziamento ecologico dei bacini di raccolta delle acque meteoriche: attorno ai bacini di raccolta delle acque meteoriche, attualmente interessati da una limitata presenza di vegetazione spondale ed idrofittica, verranno realizzate nuove coperture arbustive ed arboree eterogenee (naturaliformi), mediante la messa a dimora di essenze autoctone (anche capaci di produrre frutti carnosì) sia in forma di nuclei che di elementi singoli. L'iniziativa si prefigge lo scopo di incrementare la complessità ecologica dei due bacini di raccolta delle acque meteoriche, a favore della biodiversità vegetale e soprattutto animale.
- Creazione di nuclei arbustivi naturaliformi interni: nei pressi della viabilità di servizio, a contatto con muretto a secco e relativa siepe di rovo comune già esistente, verrà realizzato un nucleo alto-arbustivo (superficie totale: 1.700 m² circa).

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 71 di 84	

9 MOVIMENTI DI TERRA

Le operazioni di scavo da attuarsi nell’ambito della costruzione del campo solare ed opere accessorie devono riferirsi prevalentemente all’approntamento degli elettrodotti interrati (distribuzione BT e 36kV di impianto, realizzazione dell’elettrodotto 36kV di collegamento cabina di raccolta – futura SE RTN di Terna).

I volumi di scavo complessivamente stimati nell’ambito della fase di costruzione dell’opera sono pari a circa 11.400 m³ e verranno interamente riutilizzati in sito per il rinterro degli scavi e locali rimodellamenti morfologici, come si evince dalle stime sotto riportate.

9.1.1 Scavi per la realizzazione dei cavidotti e opere di regimazione idrica

La fase di aprrontamento delle trincee che ospiteranno i cavidotti prevede l'utilizzo di un escavatore a braccio rovescio dotato di benna, che scaverà e deporrà il materiale a bordo trincea; previa verifica positiva dei requisiti stabiliti dal D.M. 120/2017 (*Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164*), il materiale sarà successivamente messo in opera per il riempimento degli scavi, assicurando un recupero pressoché integrale dei terreni asportati.

Il materiale eventualmente in esubero stazionerà provvisoriamente ai bordi dello scavo e, al procedere dei lavori di realizzazione dei cavidotti, sarà caricato su camion per essere trasportato all'esterno del cantiere presso centri di recupero/smaltimento autorizzati.

Si riporta di seguito il computo dei movimenti di terra stimati per la realizzazione dei cavidotti BT, a 36kV e per le opere di regimazione idrica.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 72 di 84

DISTRIBUZIONE ELETTRICA BT					
Lunghezza (m)		Larg. (m)	Prof. (m)	Volume scavo (m ³)	Volume rinterro (m ³)
Impianto FV	14.700,00	0,3	0,6	2 646,00	2 646,00
TOTALE				2 646,00	2 646,00
ECCEDENZE A RECUPERO/SMALTIMENTO				0,00	

DISTRIBUZIONE ELETTRICA 36kV					
Lunghezza (m)		Larg. (m)	Prof. (m)	Volume scavo (m ³)	Volume rinterro (m ³)
Impianto FV	3 500,00	1	1,1	3 850,00	3 850,00
Cavidotto	3 300,00	1	1,1	3 630,00	3 630,00
BESS	50	1	1,1	55,00	55,00
TOTALE				7 535,00	7 535,00
ECCEDENZE A RECUPERO/SMALTIMENTO				0,00	

CANALETTE REGIMAZIONE IDRICA					
Lunghezza (m)		Larg. (m)	Prof. (m)	Volume scavo (m ³)	Volume rinterro (m ³)
4.700,00		0,5	0,5	1.175,00	-
TOTALE				1.175,00	-
Riutilizzo in sito per rimodellamenti				1.175,00	

Nel complesso si prevede che la realizzazione dei cavidotti determinerà lo scavo di circa 10.200,00 m³ di materiale con integrale riutilizzo dello stesso nel sito di escavazione.

La restante quota di scavo deve riferirsi all'approntamento delle opere di regimazione idrica all'interno del campo solare, stimata in circa 1.200 m². Trattandosi di scavi che interesseranno una profondità limitata, pari a circa 0.50-0.70 metri, il materiale di scavo sarà rappresentato da suoli di copertura e potrà essere utilmente reimpiegato in sito per rimodellamenti e ripristini morfologici.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 73 di 84	

10 DESCRIZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

Nel seguito, in accordo con i disposti della D.G.R. 3/25 del 23/01/2018, sarà fornita una sintetica descrizione delle attività costruttive finalizzate alla realizzazione dell’impianto fotovoltaico in oggetto, rimandando all’esame dell’elaborato GREN-FVM-RP8 per maggiori dettagli.

10.1 Indicazioni generali per l’esecutore dei lavori

I lavori dovranno essere eseguiti a regola d’arte da imprese abilitate secondo i criteri di sicurezza individuati dal testo unico della sicurezza e nella legislazione vigente in materia di sicurezza degli impianti.

L’impresa esecutrice dovrà disporre in organico di personale adeguatamente qualificato per l’esecuzione di lavorazioni che comportano rischio elettrico secondo la norma CEI 11-27.

10.2 Descrizione del contesto in cui è collocata l’area del cantiere

Il cantiere per la realizzazione dell’impianto FV è situato su terreni ubicati in agro del Comune di Macomer, nella località “Arrulas”, a ovest della S.S. Ex 131.

La disponibilità di adeguate superfici per l’allestimento dei baraccamenti di cantiere, la delimitazione di aree di deposito e lavorazione potranno essere individuati all’interno delle aree di sedime dell’impianto FV in progetto.

L’accesso al cantiere è assicurato dalla presenza della viabilità locale interpodereale, che per dimensioni e caratteristiche costruttive, risulta adeguata al transito dei mezzi d’opera. In particolare, l’accesso alle aree di impianto potrà avvenire dalla S.S. Ex 131, accendendo alla esistente viabilità vicinale che conduce alle aree di intervento.



Figura 9 – Accesso alle aree di intervento dalla S.S. Ex 131 (Fonte Google Street View)

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 74 di 84	

10.3 Principali lavorazioni previste

L'individuazione, analisi e valutazione delle lavorazioni e dei rischi ad esse correlati sarà oggetto di specifica analisi in sede di progettazione esecutiva; in tale fase si procederà, inoltre, alla definizione delle procedure organizzative e misure preventive e protettive in materia di sicurezza.

In questa sede possono comunque individuarsi le seguenti fasi lavorative principali:

1) allestimento cantiere: l'allestimento del cantiere costituisce la prima fase lavorativa della costruzione. L'allestimento e l'organizzazione di un cantiere edile comportano una serie di attività, quali, a titolo esemplificativo:

- la costruzione di recinzione;
- l'individuazione e allestimento degli accessi (sia pedonali che carrabili);
- la realizzazione degli impianti di cantiere (acqua, elettricità, ecc.);
- la realizzazione dell'impianto di messa a terra;
- il picchettamento;
- l'individuazione e allestimento degli spazi di lavorazione (banco del ferraiolo, betoniera, molazza, ecc.).

Durante i lavori dovrà essere assicurato che il movimento di mezzi d'opera e personale avvenga in condizioni di sicurezza. A questo scopo, all'interno del cantiere dovranno essere approntate adeguate vie di circolazione carrabile e pedonale, corredate di appropriata segnaletica.

2) Realizzazione dell'impianto elettrico del cantiere: tale fase prevede la posa in opera dell'impianto elettrico del cantiere per l'alimentazione di tutte le apparecchiature elettriche, compresi quadri, interruttori di protezione, cavi, prese e spine, ecc.

3) Scarico/Installazione di macchine varie di cantiere (tipo betoniera, molazza, piegaferrì/tranciatrice, sega circolare, ecc.): durante le fasi di scarico dei materiali sarà necessario vietare l'avvicinamento del personale e di terzi al mezzo di trasporto e all'area di operatività della gru idraulica del medesimo, mediante avvisi e sbarramenti. L'operatività del mezzo di trasporto dovrà essere segnalata tramite il girofaro. Gli autocarri in manovra devono essere assistiti da terra.

4) Montaggio pannelli FV su inseguitori monoassiali e collegamento agli inverter: l'attività comprende l'infissione dei sostegni verticali dei *tracker*, l'approvvigionamento, il sollevamento ed il montaggio dei componenti degli inseguitori fotovoltaici, e il loro fissaggio ai sostegni verticali; il montaggio di supporti per pannelli fotovoltaici costituiti da elementi idonei al fissaggio su piano inclinato; il sollevamento dei pannelli fotovoltaici e loro fissaggio ai supporti precedentemente montati; l'installazione degli inverter e il collegamento delle stringhe di pannelli fotovoltaici. Data l'impossibilità pratica di porre il sistema fuori tensione alla presenza di luce solare si indicherà con opportuna segnaletica tale situazione di potenziale pericolo.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 75 di 84	

5) Montaggio di cabine prefabbricate per l'alloggiamento dei quadri elettrici BT e 36kV: durante le fasi di scarico dei materiali occorrerà vietare l'avvicinamento del personale e di terzi al mezzo di trasporto e all'area di operatività della gru idraulica del medesimo, mediante avvisi e sbarramenti. Il passaggio dei carichi sopra i lavoratori durante il sollevamento e il trasporto dei carichi dovrà essere vietato. Tutti i collegamenti elettrici dovranno essere eseguiti “fuori tensione”.

6) Realizzazione canalizzazioni e posa cavidotti: prevede la posa e montaggio delle canale passacavi e delle tubazioni metalliche e disposizione dei cavi in BT per il collegamento tra l'impianto FV agli inverter e, dei cavi a 36kV per la connessione alle cabine collettore. Nei tratti di attraversamento della viabilità principale (strade statali e provinciali) ad opera del cavidotto 36kV, al fine di escludere qualunque interferenza con le ordinarie condizioni di utilizzo della strada, il progetto ha previsto il passaggio dei cavi in sottovia previa perforazione orizzontale teleguidata, in accordo con quanto illustrato negli elaborati grafici di progetto.

In corrispondenza delle interferenze dei cavidotti con gli elementi del reticolo idrografico si prevede che tra il fondo dell'alveo e l'estradosso della condotta sia assicurato almeno un metro di ricoprimento, in accordo con i disposti dell'art. 21 comma 2 lettera C delle NTA del PAI; inoltre, eventuali pozzetti di testata all'attraversamento in subalveo, in destra e/o sinistra idraulica, saranno posizionati esternamente all'alveo in accordo con le disposizioni del R.D. 523/1904.

7) Realizzazione Impianto di Rete per la Connessione: prevede la realizzazione di tutte le opere civili ed elettromeccaniche funzionali assicurare il collegamento dell'impianto alla RTN alla tensione di 36kV secondo gli standard richiesti dal Gestore di Rete.

8) Allestimento sezione BESS: prevede l'allestimento dell'impianto di *storage* elettrochimico completo di tutte le necessarie componenti impiantistiche e opere civili accessorie (container di batterie e unità di conversione, sistema di controllo e monitoraggio, cavidotti, piazzali e viabilità, ecc.).

9) Collaudo e messa in servizio: La fase di collaudo prevede l'esecuzione di verifiche tecniche funzionali da effettuarsi al termine dei lavori di installazione (corretto funzionamento dell'impianto nelle diverse condizioni di potenza generata e nelle varie modalità previste dai sistemi di conversione, continuità elettrica e connessioni tra moduli, messa a terra di masse e scaricatori, ecc.).

10) Smobilizzo del cantiere: consiste nella rimozione del cantiere realizzata attraverso lo smontaggio delle postazioni di lavoro fisse, di tutti gli impianti di cantiere, delle opere provvisorie e di protezione, della recinzione posta in opera all'insediamento del cantiere stesso ed il caricamento di tutte le attrezzature, macchine e materiali eventualmente presenti, su autocarri per l'allontanamento.

11) Attuazione degli interventi di mitigazione e ripristini: comprende tutte le attività funzionali al perseguimento del migliore inserimento dell'opera nell'ambiente, meglio descritte nelle relazioni specialistiche allegate al progetto.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 76 di 84	

10.4 Impianto elettrico di cantiere

All'origine dell'impianto deve essere previsto un quadro contenente i dispositivi di sezionamento, di comando e di protezione. L'impianto elettrico di cantiere dovrà essere dotato di interruttore generale magnetotermico differenziale con $I_{dn} = 0,03A$ e $P.I. = 6kA$. Deve essere previsto un dispositivo per l'interruzione di emergenza dell'alimentazione per tutti gli utilizzatori per i quali è necessario interrompere tutti i conduttori attivi per eliminare il pericolo.

La protezione contro i contatti diretti può essere assicurata da:

- protezione mediante isolamento delle parti attive, involucri o barriere (rimovibili solo con l'uso di una chiave o di un attrezzo), ostacoli che impediscono l'avvicinamento non intenzionale con parti attive;
- uso dell'interruttore differenziale con $I_{dn} \leq 30mA$ (protezione aggiuntiva contro i contatti diretti in caso di insuccesso delle altre misure di protezione).

La protezione contro i contatti indiretti sarà assicurata da:

- protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione. Per i cantieri la tensione limite di contatto (UL) è limitata a 25V c.a.;
- protezione mediante componenti elettrici di classe II o con isolamento equivalente.

Le prese e spine previste per i cantieri saranno a norma CEI 23-12/1 e approvate da IMQ, il grado di protezione minimo deve essere IP43.

Le prese a spina devono essere protette da un interruttore differenziale da 30mA (non più di 6 prese per interruttore), secondo quanto prescritto dalla CEI 64-8/7

I cavi flessibili degli apparecchi utilizzatori (p.es. avvolgicavi e tavolette multiple) devono essere del tipo H07RN-F, oppure di tipo equivalente ai fini della resistenza all'acqua e all'abrasione.

10.5 Precauzioni aggiuntive con impianti FV

Dal punto di vista della sicurezza il generatore fotovoltaico è una fonte energetica non interrompibile, data l'impossibilità pratica di porre il sistema fuori tensione alla presenza di luce solare, sia in fase di costruzione del generatore fotovoltaico, sia in occasione della sua manutenzione.

In caso di intervento delle protezioni, comandando i dispositivi di apertura lato c.c, si determina l'innalzamento della tensione del generatore fotovoltaico e il mantenimento di eventuali archi elettrici che si fossero creati sui circuiti c.c.

È necessario indicare con opportuna segnaletica (Figura 10.10) tale situazione di pericolo durante l'installazione e manutenzione degli impianti FV.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA	77 di 84



Figura 10.10 - Segnaletica da utilizzare per i lavori sugli impianti FV

10.6 Tempi di realizzazione

La durata complessiva dei lavori è indicativamente stimata in circa 12 mesi a decorre dall'apertura del cantiere (Elaborato GREN-FVM-RP11 - Cronoprogramma degli interventi). Si precisa, peraltro, come il cronoprogramma effettivo delle operazioni di cantiere potrà scaturire solo a seguito dell'elaborazione del Piano di Sicurezza e Coordinamento allegato al Progetto Esecutivo dell'impianto.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 78 di 84	

11 POSSIBILI RICADUTE SOCIALI, OCCUPAZIONALI ED ECONOMICHE DELL'INTERVENTO A LIVELLO LOCALE

Di seguito vengono individuate le attività funzionali allo sviluppo e realizzazione del progetto che sono state, o verranno, realizzate facendo ricorso ad operatori e maestranze locali, secondo le distinte fasi di attuazione dell'intervento.

Fase di Progettazione e Autorizzatoria

Tale fase si riferisce al conferimento di incarichi professionali ed all'affidamento di servizi per il conseguimento del titolo abilitativo alla costruzione ed esercizio dell'impianto, progettazione esecutiva, DL e coordinamento sicurezza. Le attività comprendono le spese di progettazione ed i costi per le indagini.

Importo complessivo: € 300.000,00 ca

Fase di Costruzione

Verranno eseguite con maestranze locali, come peraltro di prassi nel settore, tutte le attività non strettamente specialistiche oltretutto la Direzione Lavori ed il coordinamento per la sicurezza.

Incidenza della manodopera locale: € 4.820.000,00 ca (pari al 20% circa sul totale lavori), equivalenti a circa 170 addetti coinvolti nell'ambito del processo costruttivo.

Fase di Gestione Operativa

Si tratta di attività continuative lungo il ciclo di vita dell'impianto (20 anni) con coinvolgimento di maestranze locali per: ispezione e manutenzione elettrica di primo intervento, assistenza agli interventi di manutenzione programmata e straordinaria, lavaggio pannelli, manutenzione verde, sorveglianza. A tale riguardo il proponente ha in programma di far riferimento ad una struttura operativa che preveda il coinvolgimento delle seguenti figure professionali incaricate: n.1 elettricista, n. 1 operaio.

Costo del personale locale stabilmente coinvolto: € 1.200.000,00 ca (60.000 €/anno ca).

Valutata, inoltre, la prospettiva di instaurare un contratto di O&M con ditta specializzata ed assumendo un costo medio annuo di 20.000,00 €/MW_p¹³, si stima un costo medio indicativo di circa

¹³ Renewable Energy Report 2018 (Politecnico di Milano)

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 79 di 84	

700.000 €/anno per i 20 anni di vita economica dell’iniziativa.

L’incidenza della manodopera sull’ammontare stimato dei suddetti costi di manutenzione si stima pari al 30%.

Valutando che le suddette attività manutentive sono di norma svolte da personale residente in Sardegna, la ricaduta sul territorio per attività di O&M è stimata mediamente in **210.000,00 €/anno**, valutabile nel contributo di circa 7 addetti locali/anno.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 80 di 84	

12 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Di seguito è riportato un elenco, certamente non esaustivo, dei principali riferimenti di legge e delle norme tecniche applicabili per la progettazione e la realizzazione dell'intervento in esame. L'elenco normativo è riportato soltanto a titolo di promemoria informativo; esso non è esaustivo per cui eventuali leggi o norme applicabili, anche se non citate, andranno comunque applicate.

Infine, qualora le sopra elencate norme tecniche siano modificate o aggiornate, si dovranno applicare le norme più recenti.

Norme legislative generali, nazionali e regionali

- Decreto Legislativo 387/03 “Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità”; pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 25 del 31 gennaio 2004 - Supplemento Ordinario n. 17.
- Decreto Ministeriale 10 settembre 2010 “Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili”.
- D.G.R. N. 11/75 del 24.03.2021 della Regione Autonoma della Sardegna recante “Direttive regionali in materia di VIA e di provvedimento unico regionale in materia ambientale (PAUR)”.
- Decreto-legge 24 gennaio 2012 n. 1 e ss.mm.ii. “Disposizioni urgenti per la concorrenza, lo sviluppo delle infrastrutture e la competitività”;
- Decreto legislativo 3 marzo 2011 n. 28 e ss.mm.ii.: Attuazione della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
- Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n. 199: Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.
- Decreto Legislativo 14 marzo 2014, n. 49 “Attuazione della direttiva 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)” (GU Serie Generale n.73 del 28-03-2014 - Suppl. Ordinario n. 30);
- Deliberazione di Giunta Regionale n. 59/90 del 27/11/2020 “Individuazione delle aree non idonee all'installazione di impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili”.
- Decreto Legislativo 09/04/2008 n. 81 - Attuazione dell'art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro (Suppl. Ordinario n.108) – (sostituisce e abroga tra gli altri D. Lgs. 494/96, D.Lgs. n. 626/94, D.P.R. n. 547/55).

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 81 di 84	

Opere in cemento armato

- Legge n. 1086 del 5/11/1971. “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge n. 64 del 2/2/1974. “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- Circ. M. LL.PP. 14 febbraio 1974, n. 11951, “Applicazione delle norme sul cemento armato”.
- Circ. M. LL.PP. 9 gennaio 1980, n. 20049. “Legge 5 novembre 1971, n. 1086 - Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato”.
- D. M. 11/3/1988. “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circolare Ministero LL.PP. 24/9/1988 n. 30483: “Legge n.64/1974 art. 1 - D.M. 11/3/1988. Norme tecniche su terreni e rocce, stabilità di pendii e scarpate, progettazione, esecuzione, collaudo di opere di sostegno e fondazione”.
- D.M. del 14/2/1992. “Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- D.M. del 9/1/1996. “Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- D.M. del 16/1/1996. “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
- D.M. 16/1/1996. “Norme tecniche relative ai “Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi””.
- Circolare M.LL.PP. 04/07/1996 n. 156 AA.GG./STC. “Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi” di cui al D.M. 16/1/1996”.
- Circolare M. LL.PP. 15/10/1996, n. 252. “Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato ordinario e precompresso e per strutture metalliche” di cui al D.M. 9/1/1996”.
- Circolare 10/4/1997 n. 65 AA.GG. “Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. del 16/1/1996.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274 del 20/03/2003. “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3431 del 03/05/2005 – Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 Greenergy <small>rinno</small>	OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 82 di 84	

- UNI-EN 1992-1-1 2005: Progettazione delle strutture in calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI-ENV 1994-1-1 1995: Progettazione delle strutture composte acciaio calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- D.M. 17 gennaio 2018 “Norme tecniche per le costruzioni”.

Norme tecniche impianti elettrici

- CEI 0-16. Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI EN 61936-1 (Classificazione CEI 99-2). Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata.
- CEI EN 50522 (Classificazione CEI 99-3). Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in corrente alternata.
- CEI 11-37. Guida per l'esecuzione degli impianti di terra nei sistemi utilizzatori di energia alimentati a tensione maggiore di 1 kV;
- CEI 64-8. Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.
- CEI 11-17. Impianti elettrici di potenza con tensioni nominali superiori a 1 kV in corrente alternata. Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo.
- CEI 82-25. Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione.
- UNI 10349. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

Norme ARERA

- Delibera AEEG 90/07. Attuazione del decreto del Ministro dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del mare 19 febbraio 2007, ai fini dell'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante impianti fotovoltaici.
- Delibera AEEG 161/08. Modificazione della deliberazione dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas 13 aprile 2007, n. 90/07, in materia di incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici.
- Delibera AEEG 88/07. Disposizioni in materia di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di generazione.
- Delibera ARG/elt 33/08 dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas “Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle imprese distributrici di energia

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 8 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “GR MACOMER” IN LOCALITÀ “ARRULAS” DELLA POTENZA NOMINALE DI 27,44 MWac	COD. ELABORATO GREN-FVM-RP1
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	PAGINA 83 di 84	

elettrica”;

- Delibera ARG/elt 99/08 dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 99/08), recante in Allegato A il “Testo integrato connessioni attive” (TICA);
- Delibera ARG/elt 179/08 dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas. Modifiche e integrazioni alle deliberazioni dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas ARG/elt n. 99/08 e n. 281/05 in materia di condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica.
- Delibera ARG/elt 128/22 dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas. Modifiche e integrazioni alla deliberazione dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas ARG/elt 99/08 in materia di condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione (TICA).

Norme e Codice di Rete Terna

- Codice di rete TERNA - Codice di trasmissione, dispacciamento, sviluppo e sicurezza della rete.
- Codice di rete TERNA - Sezione 1C - Regole Tecniche di Connessione degli impianti nuovi ai sensi dei regolamenti UE 2016/631, 2016/1388 E 2017/1447.
- Guida Tecnica per la progettazione esecutiva, realizzazione, collaudo ed accettazione di Stazioni Elettriche di smistamento della RTN a tensione nominale 132÷220 kV di tipo AIS, MTS e GIS. TERNA. Codifica INS GE G 01. Rev. 00 del 22/02/12.
- Guida Tecnica Terna. Allegato A68 CENTRALI FOTOVOLTAICHE. Condizioni generali di connessione alle reti AT. Sistemi di protezione regolazione e controllo. Maggio 2022. Aggiornamento per schemi di connessione a 36 kV e revisione generale.

Altri documenti tecnici

- ISPRA, Rapporti 363/2022. Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico. 15 aprile 2022.