



REGIONE SICILIANA
PROVINCIA DI RAGUSA
COMUNE DI ACATE



PROGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA REALIZZARE NEL COMUNE DI ACATE (RG) IN CONTRADA CASALE - CANALOTTI AL FOGLIO N.36 P.LLE 90, 91, 103, 115, 196, 277, 326, 23, 372, 373, 374 E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE NEL COMUNE DI ACATE NELLA MEDESIMA CONTRADA AL FOGLIO N.30 P.LLA 487 AVENTE UNA POTENZA PARI A 22.080,52 kWp, DENOMINATO "ACATE"

PROGETTO DEFINITIVO

DISCIPLINARE DESCRITTIVO E PRESTAZIONALE
DEGLI ELEMENTI TECNICI DEL PROGETTO



LIV. PROG.	RIF. COD. PRATICA TERNA	CODICE ELABORATO	TAVOLA	DATA	SCALA
PD	202001119	RS06REL0072A0		30.11.2021	

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE E PRODUTTORE

ENTE



HF SOLAR 5 S.r.l. - Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

FIRMA RESPONSABILE

PROGETTAZIONE

HORIZONFIRM

Ing. D. Siracusa
Ing. A. Costantino
Ing. C. Chiaruzzi
Ing. G. Schillaci
Ing. G. Buffa
Arch. A. Calandrino

Arch. M. Gullo
Arch. Y. Kokalah
Arch. S. Martorana
Arch. F. G. Mazzola
Arch. G. Vella

HORIZONFIRM S.r.l. - Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

FIRMA DIGITALE PROGETTISTA



FIRMA OLOGRAFA E TIMBRO
PROGETTISTA

**Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi
tecnici dell'impianto da fonte energetica rinnovabile
attraverso tecnologia fotovoltaica**

denominato

“Acate”

Progetto definitivo

Sommario

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO E CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E STRUTTURALI	1
1.1 Generalità	1
1.2 Layout di impianto	4
2. CARATTERISTICHE TECNICHE	7
2.1 Moduli fotovoltaici	7
2.2 Strutture di supporto	8
2.3 Cavi BT	10
2.4 Quadri parallelo stringhe	13
2.5 Stazioni di conversione e trasformazione	14
2.6 Dispositivi di generatore DDG	18
2.7 Trasformatore di potenza BT/MT	18
2.8 Linee elettriche MT	18
2.9 Quadro elettrico generale di media tensione	19
2.10 Quadri servizi ausiliari di campo	20
2.11 Gruppi di misura dell'energia	20
2.12 Valutazione delle prestazioni degli impianti fotovoltaici in fase di avvio dell'impianto .	21
3. SICUREZZA ELETTRICA	23
3.1 Protezione dalle sovracorrenti	23
3.2 Protezione contro i contatti diretti	23
3.3 Protezione contro i contatti indiretti	23
4. Specifiche tecniche opere elettriche di Sottostazione	24
4.1 Cavi MT interni alla SSE 30/150kV	25
4.2 Sistemi di protezione, controllo e misura	25
4.3 Terminale cavo AT	25
4.4 Scaricatori AT 170 kV	27
4.5 Sezionatore tripolare orizzontale 145-170 kV	28
4.6 Trasformatore di tensione induttivo	30
4.7 Interruttore tripolare 170 kV	31
4.8 Trasformatori di corrente	32
4.9 Supporto rompitratta unipolare	33
4.10 Trasformatore di potenza	35

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO E CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E STRUTTURALI

1.1 Generalità

La presente relazione tecnica è parte integrante del progetto definitivo dell'impianto agrivoltaico che la Società "**HF SOLAR 5 S.r.l.**", intende realizzare nel territorio comunale di Acate (RG) in Contrada Casale- Canalotti al foglio n° 36 p.lle 90, 91, 103, 115, 196, 277, 326, 23, 372, 373 e 374 e delle relative opere di connessione da realizzare nel Comune di Acate nella medesima Contrada al foglio n.° 30 p.lla 487.

L'impianto oggetto di progettazione, ha una potenza di picco¹ pari a **22.080,52 kWp** e sarà connesso alla Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale RTN a 150 kV. Lo schema di connessione alla Rete, prescritto dal Gestore della Rete Elettrica di Trasmissione con preventivo di connessione ricevuto in data 24/09/2020 e identificato con Codice Pratica 202001119 Prot. Terna P20200060306 prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 150 kV con una nuova stazione elettrica (SE) di smistamento a 150 kV della RTN, da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 150 kV "Gela- Vittoria" previo potenziamento/rifacimento della linea RTN "Gela-Vittoria" e realizzazione degli interventi di cui al Piano di Sviluppo Terna, costituiti da:

- un nuovo elettrodotto RTN 150 kV di collegamento tra le Cabine Primarie di Vittoria Sud e S. Croce Camerina;
- risoluzione dell'attuale derivazione rigida della CP Dirillo.

Ai sensi dell'allegato A alla deliberazione Arg/elt 99/08 e s.m.i. dell'Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente, il nuovo elettrodotto in antenna a 150 kV per il collegamento della Sottostazione Elettrica di Utanza alla Stazione Elettrica di Smistamento RTN costituisce l'Impianto di Utanza per la Connessione, mentre lo Stallo Arrivo Produttore a 150 kV costituisce Impianto di Rete per la Connessione. La restante parte di impianto, oggetto della presente relazione tecnica, viene definita, ai sensi della Norma CEI 0-16, Impianto di Utanza.

L'impianto di produzione, attraverso una dorsale di media tensione in cavo interrato elettrificata a 30 kV, verrà connesso con la sezione di media tensione della Sottostazione Elettrica di Utanza MT/AT,

¹ Per potenza di picco del Campo Fotovoltaico si intende, ai sensi della Norma CEI 0-16, la somma delle potenze nominali dei moduli fotovoltaici installati valutate in condizioni STC

dove verrà innalzato il livello di tensione a 150 kV per il successivo collegamento alla Stazione Elettrica di Smistamento RTN tramite un elettrodotto in alta tensione a 150 kV.

Tuttavia, considerando che in data 20.10.2021 Terna ha pubblicato la revisione dell'Allegato A.2 al Codice di Rete "Guida agli schemi di connessione", introducendo un nuovo standard di connessione al livello di tensione di 36 kV per gli impianti di potenza fino a 100 MW che intendono connettersi alla Rete di Trasmissione Nazionale, la Società Proponente richiederà al Gestore di Rete l'applicazione di questa nuova soluzione tecnica di connessione.

Il nuovo schema di connessione prevede che l'impianto di produzione venga collegato direttamente ad uno stallo a 36 kV, come rappresentato in figura 1:

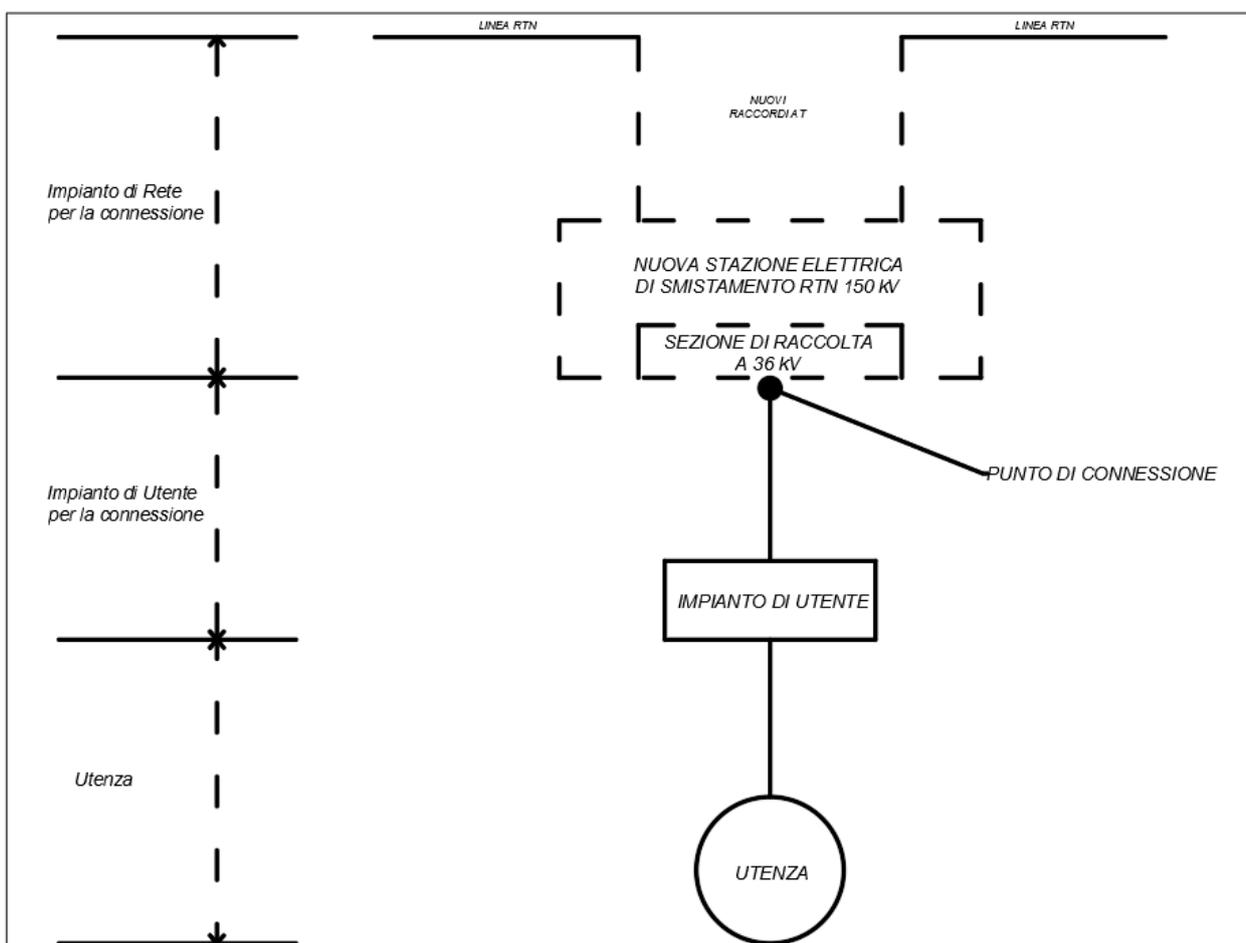


Figura 1: Schema di principio Nuovo Standard di connessione a 36 kV

L'adozione del nuovo schema di connessione a 36 kV comporterebbe:

- un utilizzo ottimale della capacità dello stallo e delle infrastrutture di rete;

- una minore occupazione del suolo, dato che non sarà più necessario realizzare stalli dedicati per ciascun impianto di produzione e le Sottostazioni Elettriche di Utenza MT/AT;
- una semplificazione dell'iter autorizzativo per i titolari delle varie iniziative.

I progetti dell'Impianto di Rete per la Connessione e dell'Impianto di Utenza per la Connessione, subiranno pertanto una modifica migliorativa in termini di riduzione dell'occupazione del suolo, a valle dell'adozione della nuova soluzione standard di connessione a 36 kV.

1.2 Layout di impianto

L'impianto fotovoltaico oggetto della presente relazione tecnica, ha una potenza di picco pari a **22.080,52 kWp**, intesa come somma delle potenze nominali dei moduli scelti, in fase di progettazione definitiva, per realizzare il generatore.

Il dimensionamento del generatore fotovoltaico è stato eseguito applicando il criterio della superficie disponibile, tenendo dei distanziamenti da mantenere tra i filari di tracker per evitare fenomeni di auto-ombreggiamento e degli spazi necessari per l'installazione delle stazioni di conversione e trasformazione dell'energia elettrica.

I moduli scelti sono in silicio monocristallino, hanno una potenza nominale di 670 Wp e sono costituiti da 132 celle fotovoltaiche.

Per massimizzare la producibilità energetica è previsto l'utilizzo di tracker monoassiali del tipo 2-V da 84, 56 e 28 moduli con pitch pari a 8 m, per un totale di 32956 moduli.

L'impianto sarà suddiviso in 6 sottocampi fotovoltaici, ciascuno dei quali confluirà ad un locale di conversione e trasformazione dell'energia elettrica, disposto in posizione quanto più possibile baricentrica rispetto al relativo sottocampo, in modo tale da limitare le perdite di potenza attiva per effetto Joule.

La stazioni di conversione e trasformazione scelte in fase di progettazione sono identificabili con le SMA MV POWER STATION, che saranno equipaggiate con n° 2 inverter centralizzati SUNNY CENTRAL ed un trasformatore MT/BT dotato di due avvolgimenti di bassa tensione. Tenendo conto del numero di moduli complessivamente installati, la configurazione ottimale che consente di realizzare il corretto accoppiamento elettrico tra stringhe fotovoltaiche e gli inverter scelti prevede la realizzazione di stringhe fotovoltaiche da 28 moduli in serie.

Nel dettaglio le stringhe fotovoltaiche saranno collegate in parallelo tra loro attraverso appositi quadri di parallelo stringhe, equipaggiati con IMS combinati con fusibili, scaricatori di sovratensione e diodi di blocco.

Dai quadri di parallelo, partiranno le linee elettriche in DC che andranno a collegarsi direttamente ai gruppi di conversione, presenti all'interno delle Power Station.

Qui verrà eseguita la conversione e la trasformazione dell'energia elettrica prodotta, innalzando il valore della tensione al livello della media tensione (30 kV), attraverso un trasformatore BT/MT.

È prevista inoltre la realizzazione di n° **2 linee elettriche di media tensione**, a mezzo delle quali le Power Station previste, verranno interconnesse tra loro e collegate al quadro elettrico generale di media tensione installato all'interno della cabina di raccolta, secondo l'ordine di seguito indicato:

- Linea MT N.1: interconnette, in entra-esce, le Power Station 1;
- Linea MT N.2: interconnette, in entra-esce, le Power Station 2, 3, 4, 5 e 6;

Ognuna delle linee elettriche di media tensione ad alimentare le power station sarà a struttura radiale in cavo interrato del tipo **ARE4H5E** della sezione adeguata, e si svilupperà secondo il tracciato indicato nelle tavole di progetto allegate.

Come riscontrabile dalle tavole di progetto allegate e dallo schema elettrico unifilare, a cui si rimanda per una maggiore comprensione di quanto descritto, il campo di generazione è stato suddiviso in **6 sottocampi fotovoltaici**, le cui potenze sono quelle di seguito indicate:

- Sottocampo 1, da 3.714,48 kWp;
- Sottocampo 2, da 3.695,72 kWp;
- Sottocampo 3, da 3.695,72 kWp.
- Sottocampo 4, da 3.583,16 kWp.
- Sottocampo 5, da 3.695,72 kWp.
- Sottocampo 6, da 3.695,72 kWp.

Di seguito si riporta l'insieme degli elementi costituenti l'Impianto di Utente:

- 32956 moduli fotovoltaici da 670Wp;
- 1177 stringhe fotovoltaiche costituite da 28 moduli da 670Wp in serie;
- cavi elettrici di bassa tensione in corrente continua che dai quadri parallelo stringhe arrivano agli inverter;
- N° 6 Power Station da 5000 kVA, costituita da:
 - N°2 Inverter Sunny Central 2500-EV;
 - N°1 Trasformatore BT/MT 0,55/30 kV da 5000 kVA;
- cavi elettrici di bassa tensione che dagli inverter arrivano ai quadri elettrici BT installati all'interno delle cabine di trasformazione;
- cavi di bassa tensione per il collegamento degli avvolgimenti di bassa tensione dei trasformatori ai quadri elettrici di bassa tensione;
- N° 12 interruttori automatici di bassa tensione, installati sul montante BT di collegamento tra i trasformatori e gli inverter (dispositivi di generatore);
- N° 12 gruppi di misura dell'energia elettrica prodotta;
- N° 3 trasformatori MT/BT da 50 kVA per l'alimentazione dei servizi ausiliari delle cabine di campo;

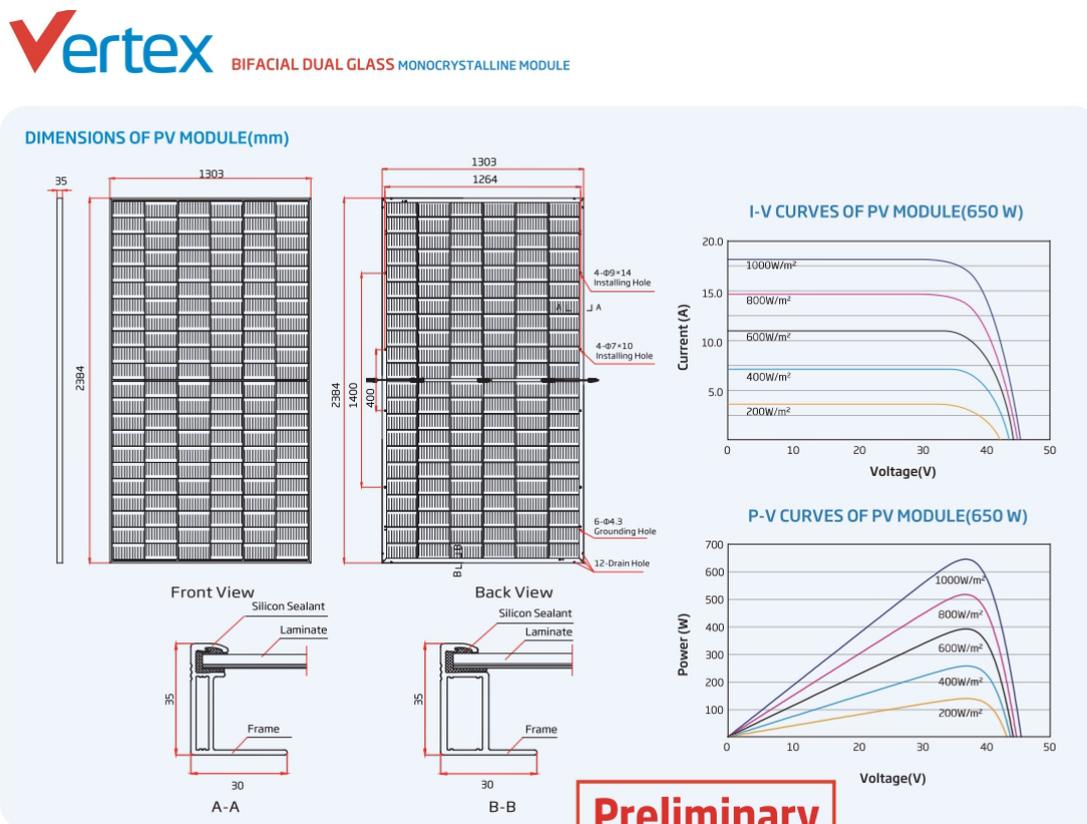
- N° 1 trasformatori MT/BT da 100 kVA per l'alimentazione dei servizi ausiliari delle cabine di campo;
- N° 4 quadri elettrici di bassa tensione per l'alimentazione dei servizi ausiliari di cabina;
- N. 1 cabine di raccolta del tipo container, di dimensioni 12x2,5x3 m (L x l x h) nelle quali saranno collocate i quadri MT;
- N° 2 linee elettriche di media tensione in cavo unipolare ARE4H5E per posa interrata;
- N° 1 dorsale di media tensione di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza;

2. CARATTERISTICHE TECNICHE

2.1 Moduli fotovoltaici

Premesso che i moduli verranno acquistati in funzione della disponibilità e del costo di mercato in fase di realizzazione, in questa fase della progettazione, ai fini del dimensionamento di massima del generatore fotovoltaico si è scelto di utilizzare moduli fotovoltaici **Vertex Bifacial Dual Glass in silicio monocristallino da 670Wp, costituiti da 132 celle**, di cui si riporta il datasheet:

Le principali caratteristiche elettriche, misurate in condizioni standard STC (AM=1,5, E=1000 W/m² T=25 °C) sono riportate nella tabella seguente:



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts-P _{MAX} (Wp)*	635	640	645	650	655	660	665	670
Power Tolerance-P _{MAX} (W)	0 ~ +5							
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	37.1	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3	38.5
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	17.15	17.19	17.23	17.27	17.31	17.35	17.39	17.43
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	44.9	45.1	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1	46.3
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	18.21	18.26	18.31	18.35	18.40	18.45	18.50	18.55
Module Efficiency η _m (%)	20.4	20.6	20.8	20.9	21.1	21.2	21.4	21.6

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

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

Total Equivalent power -P _{MAX} (Wp)	680	685	690	696	701	706	712	717
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	37.1	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3	38.5
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	18.35	18.39	18.44	18.48	18.52	18.56	18.60	18.63
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	44.9	45.1	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1	46.3
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	19.48	19.54	19.59	19.63	19.69	19.74	19.79	19.84
Irradiance ratio (rear/front)	10%							

Power Bifaciality:70±5%.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384×1303×35 mm (93.86×51.30×1.38 inches)
Weight	38.7 kg (85.3 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)
Frame	35mm(1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: 280/280 mm(11.02/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EV02 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

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

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC) 1500V DC (UL)

Figura 1: caratteristiche elettriche del modulo fotovoltaico

2.2 Strutture di supporto

Le strutture di sostegno dei moduli sono costituite da profili metallici in acciaio zincato a caldo opportunamente dimensionati, che vengono posizionati ad un'altezza di circa **2 m** e posti orizzontalmente seguendo la giacitura del terreno. Tale struttura a reticolo viene appoggiata a pilastri di forma rettangolare di medesima sezione ed infissi nel terreno ad una profondità variabile in funzione delle caratteristiche litologiche del suolo.

Si tratta di una struttura metallica costituita essenzialmente da:

- Il corpo di sostegno disponibile come sostegno singolo o articolato a seconda del numero di moduli da applicare. La leggerezza dell'alluminio e la robustezza dell'acciaio raggiungono un'ottima combinazione e attraverso il profilo monoblocco vengono evitate ulteriori giunzioni suscettibili alla corrosione e alla maggiore applicazione;
- Le traverse sono rapportate alle forze di carico. Tutti i profili sono integrati da scanalature che permettono un facile montaggio. Le traverse sono fissate al sostegno con particolari morsetti. Le traverse sono dotate del pregiato Klick-System;
- Le fondazioni costituite semplicemente da un profilato in acciaio zincato a caldo conficcato nel terreno disponibile in più lunghezze standard. La forma del profilo supporta ottimamente i carichi statici e dinamici. Rispetto ai profili laminati il risparmio di materiale è del 50%.

Sinteticamente i vantaggi della struttura utilizzata si possono così riassumere:

- Logistica
 - Alto grado di prefabbricazione;
 - Montaggio facile e veloce;
 - Componenti del sistema perfettamente integrati.
- Materiali
 - Materiale interamente metallico (alluminio/inox) con notevole aspettativa di durata;
 - Materiali altamente riciclabili;
 - Aspetto leggero dovuto alla forma dei profili ottimizzata.
- Costruzione
 - Facilità di installazione di moduli laminati o con cornice;
 - Possibilità di regolazione per terreni accidentati;
 - Facile e vantaggiosa integrazione con un sistema parafulmine.
- Calcoli statici

- Forza di impatto del vento calcolata sulla base delle più recenti e aggiornate conoscenze scientifiche e di innovazione tecnologiche;
- Traverse rapportate alle forze di carico;
- Ottimizzazione di collegamento fra i vari elementi.

Per l'elaborato specifico in cui sono riportate piante, prospetti e particolari della struttura si rimanda all'elaborato D18 – Particolari tracker monoassiali.



Figura 1: Rappresentazione della struttura di supporto



Figura 2: Rappresentazione della struttura di supporto

2.3 Cavi BT

All'interno dell'impianto di utenza si individuano due tipologie di cavi di bassa tensione:

- cavi di bassa tensione in c.a. per il collegamento dei quadri elettrici di bassa tensione agli avvolgimenti di bassa tensione di trasformatori e agli inverter;
- cavi elettrici di bassa tensione in c.c. per il collegamento degli ingressi in corrente continua degli inverter ai quadri di parallelo stringhe, e da questi alle stringhe fotovoltaiche.

Per il cablaggio dei moduli e per il collegamento tra le stringhe e i quadri di campo sono previsti cavi solari in doppio isolamento o equivalenti appositamente progettati per l'impiego in campi FV per la produzione di energia.

CARATTERISTICHE TECNICHE:

- Conduttore: rame elettrolitico, stagnato, classe 5 secondo IEC 60228
- Isolante: HEPR 120 °C
- Max. tensione di funzionamento 1,5 kV CC Tensione di prova 4kV, 50 Hz, 5 min.
- Intervallo di temperatura Da - 50°C a + 120°C

- Durata di vita attesa pari a 30 anni In condizioni di stress meccanico, esposizione a raggi UV, presenza di ozono, umidità, particolari temperature.
- Verifica del comportamento a lungo termine conforme alla Norma IEC 60216
- Resistenza alla corrosione
- Ampio intervallo di temperatura di utilizzo
- Resistenza ad abrasione
- Ottimo comportamento del cavo in caso di incendio: bassa emissione di fumi, gas tossici e corrosivi
- Resistenza ad agenti chimici
- Facilità di assemblaggio
- Compatibilità ambientale e facilità di smaltimento.

Le linee elettriche di bassa tensione in corrente continua, consentiranno di collegare le stringhe fotovoltaiche ai quadri di parallelo stringhe dislocati lungo il campo e questi ultimi agli inverter, i quali, come detto in precedenza, saranno di tipo centralizzato e disposti in posizione quanto più possibile baricentrica rispetto al relativo sottocampo, in modo tale da limitare le perdite di potenza attiva per effetto Joule.

Ciascuna linea è stata dimensionata in funzione della massima corrente di stringa, incrementata cautelativamente del 25% per tenere conto dell'aumento della corrente di cortocircuito del modulo a causa di valori di irraggiamento superiori a 1000 W/m².

Fermo restando che le tipologie di componenti da utilizzare verranno definite in fase di progettazione esecutiva, in questa fase della progettazione si è scelto di utilizzare *cavi solari H1Z2Z2-K* adatti per posa in aria come cavi di stringa. Assumendo una lunghezza media di 25 m e nell'ottica di limitare le perdite di potenza attiva a valori non superiori all'1%, la sezione minima da adottare è quella da 10 mm². La scelta adottata, tuttavia, potrà subire modifiche in fase di progettazione esecutiva.

Per il collegamento dei quadri di parallelo stringhe agli inverter, si potranno utilizzare cavi solari o in alternativa cavi ordinari di bassa tensione, la cui sezione minima, calcolata in funzione della potenza sottesa al singolo quadro di parallelo, è quella da 300 mm².

Basse Tension
Bassa Tensione

H1Z2Z2-K

Photovoltaïque
Fotovoltaico

Formation Formazione	Ø approx. conductor Ø indicativo conduttore	Épaisseur moyenne isolant Spessore medio isolante	Épaisseur moyenne gaine Spessore medio guaina	Ø. approx. production Ø indicativo produzione	Poids approx. câble Peso indicativo cavo	Résistance électrique max à 20°C Resistenza elettrica max a 20°C	Intensité admissible à l'air libre Portata di corrente in aria libera	
							Câble seul Singolo cavo 60°C	2 câbles adjacents 2 cavi adiacenti 60°C
n° x mm²	mm	mm	mm	mm	kg/km	ohm/km	A	A
1 x 1,5	1,5	0,7	0,8	4,7	34	13,7	30	24
1 x 2,5	2,1	0,7	0,8	5,2	47	8,21	40	33
1 x 4	2,5	0,7	0,8	5,8	58	5,09	55	44
1 x 6	3,0	0,7	0,8	6,5	80	3,39	70	70
1 x 10	4,0	0,7	0,8	7,9	127	1,95	95	95
1 x 16	5,0	0,7	0,9	8,8	180	1,24	130	107
1 x 25	6,2	0,9	1,0	10,6	270	0,795	180	142
1 x 35	7,6	0,9	1,1	12,0	360	0,565	220	176
1 x 50	8,9	1,0	1,2	14,1	515	0,393	280	221
1 x 70	10,5	1,1	1,2	15,9	720	0,277	350	278
1 x 95	12,5	1,1	1,3	17,7	915	0,210	410	333
1 x 120	13,7	1,2	1,3	19,8	1160	0,164	480	390
1 x 150	16,1	1,4	1,4	21,7	1460	0,132	566	453
1 x 185	17,7	1,6	1,6	24,1	1780	0,108	644	515
1 x 240	19,9	1,7	1,7	26,7	2310	0,082	775	620

Tabella 1: Scheda tecnica cavi solari H1Z2Z2-K

general
COVI s.p.a.

FG7R / FG7OR 0,6/1kV



FG7(O)R 0,6/1kV

Numero conduttori Cores number (N°)	Sezione nominale Cross section (mm²)	Diametro indicativo conduttore Approx conductor diameter (mm)	Spessore medio isolante Insulation medium thickness (mm)	Diametro est. indicativo di produzione Approx external production diameter (mm)	Peso indicativo del cavo Approx cable weight (kg/km)	Resistenza elettrica a 20°C Electric resistance at 20°C (Ohm/km)	Portate di corrente Current carrying capacities	
							20°C Interrato 20°C In ground (A)	30° In tubo o in aria 30° In air or pipe (A)
Unipolare / Single core								
1x	1.5	1.6	0.7	6.05	51	13.3	21	20
1x	2.5	2	0.7	6.50	63	7.98	27	28
1x	4	2.6	0.7	7.15	82	4.95	35	37
1x	6	3.4	0.7	7.50	101	3.3	44	48
1x	10	4.4	0.7	7.99	152	1.91	59	66
1x	16	5.7	0.7	9.10	211	1.21	77	88
1x	25	6.9	0.9	10.40	301	0.78	100	117
1x	35	8.1	0.9	11.70	396	0.554	121	144
1x	50	9.8	1	14.05	556	0.386	150	175
1x	70	11.6	1.1	15.90	761	0.272	184	222
1x	95	13.3	1.1	17.59	991	0.206	217	269
1x	120	15.1	1.2	19.90	1219	0.161	259	312
1x	150	16.8	1.4	22.01	1517	0.129	287	355
1x	185	18.6	1.6	24.20	1821	0.106	323	417
1x	240	21.4	1.7	26.88	2366	0.0801	379	490
1x	300	23.9	1.8	31.70	2947	0.0641	429	-
1x	400	27.5	2	35.10	3870	0.0486	541	-

Tabella 2: scheda tecnica cavi ordinari di bassa tensione FG7R

Le linee saranno in cavo interrato all'interno di tubazione protettiva in PVC, posta ad una profondità di posa adeguata. I tubi protettivi avranno un diametro almeno 1,4 volte quello del cavo o del cerchio circoscritto ai cavi, per permettere un facile infilaggio.

All'interno della trincea di scavo la presenza dei cavi elettrici verrà segnalata con apposito nastro di segnalazione che verrà posato lungo lo scavo.

Le modalità di posa dei cavi BT in corrente alternata (in cunicoli, tubi protettivi, sottopavimento, etc...) verranno definite in fase di progettazione esecutiva.

2.4 Quadri parallelo stringhe

I quadri di parallelo stringhe QPS hanno la funzione di collegare in parallelo le varie stringhe di moduli.

I QPS verranno montati direttamente sulle strutture di supporto dei moduli e saranno equipaggiati con le seguenti apparecchiature:

- N. 1 IMS con fusibile per ciascuna stringa;
- N. 1 diodo di blocco per ciascuna stringa;
- N.1 sezionatore sotto carico;
- N.1 scaricatore allo stato solido da 800Vca per ogni polo.

La struttura dei QPS sarà in resina autoestinguente con portina frontale trasparente montata su cerniere e munita di battuta in neoprene. Ciascun quadro sarà provvisto di staffe di ancoraggio e di ingressi e uscite cavi muniti di pressacavo.

Tutte le apparecchiature saranno accessibili singolarmente per il controllo e l'eventuale asportazione senza necessità di rimuovere quelle adiacenti; le sbarre di collegamento saranno di rame elettrolitico e i cavi unipolari di sezione opportuna.

La morsettiera generata conterrà uno o più contatti dell'impianto di terra, dove saranno collegate tutte le parti metalliche facenti parte del quadro stesso.

I quadri, adatti per l'installazione all'esterno, avranno le seguenti caratteristiche:

- a) materiale antiurto ed autoestinguente;
- b) inalterabilità per temperatura -10 / +50 °C;
- c) grado di protezione IP 65. I suddetti quadri di campo realizzano il sezionamento ed il parallelo delle stringhe dei moduli provenienti dal campo fotovoltaico. All'interno saranno presenti dispositivi di sezionamento, fusibili ed il monitoraggio della corrente per ogni stringa, inoltre è predisposto un modulo per la comunicazione seriali dei dati inerenti l'array ad un sistema SCADA.

Esse disporranno al loro interno dell'elettronica necessaria per il cablaggio nonché protezione contro scariche provocate da fulmini e rotture dei moduli stessi. Dalle cassette di derivazione partiranno i cavi di collegamento (rivestiti in pvc o in gomma) fino alla cabina di trasformazione in cui sono contenuti gli inverter. Tutti i cavi utilizzati sono rispondenti alla norma CEI 20-22.

2.5 Stazioni di conversione e trasformazione

È previsto l'utilizzo di stazioni di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta, denominate Power Station, della potenza nominale di 5000kVA.

Ognuna delle Power Station scelte, risulterà equipaggiata con n° 2 gruppi di conversione centralizzati DC/AC da 2500 kVA (in base alla taglia della Power station utilizzata), ed un trasformatore BT/MT da taglia di 5000 kVA dotato di n° 2 avvolgimenti elettrici di bassa tensione indipendenti.

In fase progettuale ci si è avvalsi della MV POWER STATION di SMA:

MV POWER STATION 5500



Figura 3: Cabina tipo SMA

Avente le seguenti caratteristiche:

Technical Data	MV Power Station 5000	MV Power Station 5500	MV Power Station 6000
Input (DC)			
Available inverters	2 x SC 2500-EV or 2 x SCS 2500-EV	2 x SC 2750-EV or 2 x SCS 2750-EV	2 x SC 3000-EV or 2 x SCS 3000-EV
Max. input voltage	1500 V	1500 V	1500 V
Max. input current	2 x 3200 A	2 x 3200 A	2 x 3200 A
Number of DC inputs	2 x 24 double pole fused (2 x 32 single pole fused)		
Integrated zone monitoring	o	o	o
Available DC fuse sizes (per input)	200 A, 250 A, 315 A, 350 A, 400 A, 450 A, 500 A		
Output (AC) on the medium-voltage side			
Standard power at 1000 m and cos φ = 1 (at -25°C to 35°C / at 40°C / at 45°C) ¹⁾	5000 kVA / 4500 kVA / 0 kVA	5500 kVA / 5000 kVA / 0 kVA	6000 kVA / 5400 kVA / 0 kVA
Optionale power at 1000 m and cos φ = 1 (at -25°C to 35°C / at 50°C / at 55°C) ¹⁾	5000 kVA / 4500 kVA / 0 kVA	5500 kVA / 5000 kVA / 0 kVA	6000 kVA / 5400 kVA / 0 kVA
Typical nominal AC voltages	11 kV to 35 kV	11 kV to 35 kV	11 kV to 35 kV
AC power frequency	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Transformer vector group Dy11y11 / YNd11d11	• / o	• / o	• / o
Transformer cooling methods ONAF ²⁾ / KNAF ²⁾	• / o	• / o	• / o
Max. output current at 33 kV	88 A	97 A	105 A
Transformer no-load losses Standard / Ecodesign at 33 kV	3.1 kW / 4.0 kW	3.1 kW / 4.0 kW	3.2 kW / 4.5 kW
Transformer short-circuit losses Standard / Ecodesign at 33 kV	37.5 kW / 37.5 kW	40.0 kW / 40.0 kW	45.5 kW / 45.5 kW
Max. total harmonic distortion	< 3%	< 3%	< 3%
Reactive power feed-in	o up to 60% of AC power	o up to 60% of AC power	o up to 60% of AC power
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited
Inverter efficiency			
Max. efficiency ³⁾	98.6%	98.7%	98.8%
European efficiency ³⁾	98.3%	98.6%	98.6%
CEC weighted efficiency ⁴⁾	98.0%	98.5%	98.5%
Protective devices			
Input-side disconnection point	DC load-break switch	DC load-break switch	DC load-break switch
Output-side disconnection point	Medium-voltage vacuum circuit breaker	Medium-voltage vacuum circuit breaker	Medium-voltage vacuum circuit breaker
DC overvoltage protection	Surge arrester type I	Surge arrester type I	Surge arrester type I
Galvanic isolation	•	•	•
Internal arc classification medium-voltage control room (according to IEC 62271-202)	IAC A 20kA 1s	IAC A 20kA 1s	IAC A 20kA 1s
General Data			
Dimensions of the 40-foot High Cube ISO container (W / H / D) ⁵⁾	12192 mm / 2896 mm / 2438 mm	12192 mm / 2896 mm / 2438 mm	12192 mm / 2896 mm / 2438 mm
Weight	< 26 t	< 26 t	< 26 t
Self-consumption (max. / partial load / average) ¹⁾	< 16.2 kW / < 3.6 kW / < 4.0 kW	< 16.2 kW / < 3.6 kW / < 4.0 kW	< 16.2 kW / < 3.6 kW / < 4.0 kW
Self-consumption (stand-by) ¹⁾	< 740 W	< 740 W	< 740 W
Degree of protection according to IEC 60529	Control rooms IP23D, inverter electronics IP65		
Environment: standard / chemically active / dusty	• / o / o	• / o / o	• / o / o
Degree of protection according to IEC 60721-3-4 (4C1, 4S2 / 4C2, 4S2 / 4C2, 4S4)	• / o / o	• / o / o	• / o / o
Maximum permissible value for relative humidity	15% to 95%	15% to 95%	15% to 95%
Max. operating altitude above mean sea level 1000 m / 2000 m / 3000 m / 4000		• / o / o / - (earlier temperature-dependent de-rating)	
Fresh air consumption of inverter and transformer	20000 m ³ /h	20000 m ³ /h	20000 m ³ /h
Features			
DC terminal	Terminal lug	Terminal lug	Terminal lug
AC connection	Outer-cone angle plug	Outer-cone angle plug	Outer-cone angle plug
Tap changer for MV-transformer: without / with	• / o	• / o	• / o
Shield winding for MV-Transformer: without / with	• / o	• / o	• / o
Communication package	o	o	o
Station enclosure color	RAL 7004	RAL 7004	RAL 7004
Transformer for external loads: without / 30 kVA / 40 kVA / 50 kVA / 60 kVA	• / o / o / o / o	• / o / o / o / o	• / o / o / o / o
Medium-voltage switchgear: without / 2 feeders / 3 feeders	• / o / o	• / o / o	• / o / o
1 or 2 cable feeders with load-break switch, 1 transformer feeder with circuit breaker, internal arc classification IAC A FL 20 kA 1 s according to IEC 62271-200	• / o / o / o / o	• / o / o / o / o	• / o / o / o / o
Accessories for medium-voltage switchgear: without / auxiliary contacts / motor for transformer feeder / cascade control / monitoring	• / o / o / o / o	• / o / o / o / o	• / o / o / o / o
Oil containment: without / with (integrated)	• / o	• / o	• / o
Industry standards (for other standards see the inverter datasheet)	IEC 62271-202, IEC 62271-200, IEC 60076, CSC certificate, EN 50588-1		
• Standard features o Optional features - Not available			
Type designation	MVPS-5000-20	MVPS-5500-20	MVPS-6000-20

Equipaggiate con inverter SUNNY CENTRAL:



Figura 4: inverter Sunny Central

Con datasheet:

Technical Data	Sunny Central 2500-EV	Sunny Central 2750-EV	Sunny Central 3000-EV
Input (DC)			
MPP voltage range V_{DC} (at 25 °C / at 35 °C / at 50 °C)	850 V to 1425 V / 1200 V / 1200 V	875 V to 1425 V / 1200 V / 1200 V	956 V to 1425 V / 1200 V / 1200 V
Min. input voltage $V_{DC, min}$ / Start voltage $V_{DC, start}$	778 V / 928 V	849 V / 999 V	927 V / 1077 V
Max. input voltage $V_{DC, max}$	1500 V	1500 V	1500 V
Max. input current $I_{DC, max}$ (at 25 °C / at 50 °C)	3200 A / 2956 A	3200 A / 2956 A	3200 A / 2970 A
Max. short-circuit current rating	6400 A	6400 A	6400 A
Number of DC inputs	32	32	32
Max. number of DC cables per DC input (for each polarity)	2 x 800 kcmil, 2 x 400 mm ²	2 x 800 kcmil, 2 x 400 mm ²	2 x 800 kcmil, 2 x 400 mm ²
Integrated zone monitoring	○	○	○
Available DC fuse sizes (per input)	200 A, 250 A, 315 A, 350 A, 400 A, 450 A, 500 A		
Output (AC)			
Nominal AC power at $\cos \varphi = 1$ (at 35 °C / at 50 °C)	2500 kVA / 2250 kVA	2750 kVA / 2500 kVA	3000 kVA / 2700 kVA
Nominal AC power at $\cos \varphi = 0.8$ (at 35 °C / at 50 °C)	2000 kW / 1800 kW	2200 kW / 2000 kW	2400 kW / 2160 kW
Nominal AC current $I_{AC, nom} = \text{Max. output current } I_{AC, max}$	2624 A	2646 A	2646 A
Max. total harmonic distortion	< 3% at nominal power	< 3% at nominal power	< 3% at nominal power
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range ^{1) 8)}	550 V / 440 V to 660 V	600 V / 480 V to 690 V	655 V / 524 V to 721 V ⁹⁾
AC power frequency		50 Hz / 47 Hz to 53 Hz 60 Hz / 57 Hz to 63 Hz	
Min. short-circuit ratio at the AC terminals ¹⁰⁾		> 2	
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable ¹¹⁾		● 1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited ○ 1 / 0.0 overexcited to 0.0 underexcited	
Efficiency			
Max. efficiency ²⁾ / European efficiency ²⁾ / CEC efficiency ²⁾	98.6% / 98.3% / 98.0%	98.7% / 98.5% / 98.5%	98.8% / 98.6% / 98.5%
Protective Devices			
Input-side disconnection point		DC load-break switch	
Output-side disconnection point		AC circuit breaker	
DC overvoltage protection		Surge arrester, type I	
AC overvoltage protection (optional)		Surge arrester, class I	
Lightning protection (according to IEC 62305-1)		Lightning Protection Level III	
Ground-fault monitoring / remote ground-fault monitoring		○ / ○	
Insulation monitoring		○	
Degree of protection: electronics / air duct / connection area (as per IEC 60529)		IP65 / IP34 / IP34	
General Data			
Dimensions (W / H / D)	2780 / 2318 / 1588 mm (109.4 / 91.3 / 62.5 inch)		
Weight	< 3400 kg / < 7496 lb		
Self-consumption (max. ⁴⁾ / partial load ⁵⁾ / average ⁶⁾)	< 8100 W / < 1800 W / < 2000 W		
Self-consumption (standby)	< 370 W		
Internal auxiliary power supply	Integrated 8.4 kVA transformer		
Operating temperature range ⁸⁾	-25 to 60 °C / -13 to 140 °F		
Noise emission ⁷⁾	67.8 dB(A)		
Temperature range (standby)	-40 to 60 °C / -40 to 140 °F		
Temperature range (storage)	-40 to 70 °C / -40 to 158 °F		
Max. permissible value for relative humidity (condensing / non-condensing)	95% to 100% (2 month / year) / 0% to 95%		
Maximum operating altitude above MSL ⁸⁾ 1000 m / 2000 m / 3000 m	● / ○ / ○ (earlier temperature-dependent derating)		
Fresh air consumption	6500 m ³ /h		
Features			
DC connection	Terminal lug on each input (without fuse)		
AC connection	With busbar system (three busbars, one per line conductor)		
Communication	Ethernet, Modbus Master, Modbus Slave		
Communication with SMA string monitor (transmission medium)	Modbus TCP / Ethernet (FO MM, Cat-5)		
Enclosure / roof color	RAL 9016 / RAL 7004		
Supply transformer for external loads	○ (2.5 kVA)		
Standards and directives complied with	CE, IEC / EN 62109-1, IEC / EN 62109-2, BDEW-MSRL, IEEI 1547, Arrêté du 23/04/08		
EMC standards	CISPR 11, CISPR 22, EN55011:2017, EN 55022, IEC/EN 61000-6-4, IEC/EN 61000-6-2, IEC 62920, FCC Part 15 Class A	CISPR 11, CISPR 22, EN55011:2017, EN 55022, IEC 62920, FCC Part 15 Class A	
Quality standards and directives complied with	VDI/VDE 2862 page 2, DIN EN ISO 9001		
● Standard features ○ Optional			
Type designation	SC-2500-EV-10	SC-2750-EV-10	SC-3000-EV-10
<p>1) At nominal AC voltage, nominal AC power decreases in the same proportion</p> <p>2) Efficiency measured without internal power supply</p> <p>3) Efficiency measured with internal power supply</p> <p>4) Self-consumption at rated operation</p> <p>5) Self-consumption at < 75% Pn at 25 °C</p> <p>6) Self-consumption averaged out from 5% to 100% Pn at 35 °C</p> <p>7) Sound pressure level at a distance of 10 m</p> <p>8) Values apply only to inverters. Permissible values for SMA MV solutions from SMA can be found in the corresponding data sheets.</p> <p>9) AC voltage range can be extended to 753V for 50Hz grids only (option „Aux power supply: external“ must be selected, option “housekeeping” not combinable).</p> <p>10) A short-circuit ratio of < 2 requires a special approval from SMA</p> <p>11) Depending on the DC voltage</p>			

Saranno presenti, nell'impianto d'utenza, 6 Power Station per un totale di:

- 12 inverter
- 6 Trasformatori

2.6 Dispositivi di generatore DDG

La configurazione impiantistica adottata prevede la presenza di n° 12 dispositivi di generatore la cui apertura, comandata da un apposito sistema di protezione, determina la separazione del gruppo di generazione dalla rete, consentendo all'impianto stesso l'eventuale funzionamento in isola sui carichi privilegiati.

2.7 Trasformatore di potenza BT/MT

All'interno di ciascuna cabina di trasformazione sarà presente un trasformatore di tensione necessario per elevare la tensione a 30 kV; il trasformatore sarà integrato all'interno della Power Station.

I trasformatori saranno adatti per l'installazione in impianti fotovoltaici e con potenza nominale di 5000 kVA.

I trasformatori dovranno essere progettati e dimensionati per tener in considerazione la presenza di armoniche di corrente prodotte dai convertitori. I trasformatori saranno del tipo con raffreddamento ad aria naturale, per installazione interna, e saranno dotati di un sistema di ventilazione forzata per migliorare la dissipazione del calore.

Per i dati tecnici dei trasformatori MT/BT identificati in progetto si rimanda al datasheet delle Power station nel capitolo dedicato alle stazioni di conversione e trasformazione in relazione all'inverter con cui verrà accoppiato per cui nel medesimo capitolo vengono specificate le caratteristiche, precisando che in fase realizzativa potranno adottarsi taglie differenti pur mantenendo le stesse caratteristiche principali.

2.8 Linee elettriche MT

Come facilmente riscontrabile dalle tavole di progetto allegate e dallo schema elettrico unifilare dell'impianto, a cui si rimanda per una maggiore comprensione di quanto descritto, il layout di impianto proposto, prevede n° 3 linee elettriche di media tensione elettrificate a 30 kV, ciascuna delle quali interconnette, in entra-esce, un certo numero di Power Station secondo l'ordine di seguito indicato:

Linea MT n° 1

La linea elettrica MT n° 1 collega la Power Station 1 con il quadro elettrico generale di media tensione; essa presenta le seguenti caratteristiche:

- Tipologia di cavo: ARE4H5E 18/30 kV;
- Formazione: 3x(1x150) mm²;
- Lunghezza: circa 200 m.

Linea MT n° 2

La linea elettrica MT n° 2 consente di collegare le Power Station 2, 3, 4, 5 e 6 con il quadro elettrico generale di media tensione; essa presenta le seguenti caratteristiche:

- Tipologia di cavo: ARE4H5E 18/30 kV;
- Formazione: 3x(1x500) mm²;
- Lunghezza: circa 700 m.

Per i calcoli di dimensionamento e di verifica dei cavi, si rimanda alla relazione tecnica “dimensionamento cavi e verifica della c.d.t.”.

2.9 Quadro elettrico generale di media tensione

2.9.1 Cabina di Raccolta

E' prevista l'installazione di n° 1 cabine di raccolta di tipo prefabbricato (dimensioni 12.19x2.43) all'interno della quale verrà installato il quadro elettrico generale di media tensione e un trasformatore MT/BT 30kV/0,4kV da 100kVA, per l'alimentazione dei servizi ausiliari di impianto.

2.9.2 Quadro elettrico generale di media tensione

All'interno di cabina di raccolta, è prevista l'installazione di un quadro elettrico generale di media tensione, costituito da scomparti MT isolati in aria, predisposti per essere accoppiati tra loro in modo da costituire un'unica apparecchiatura. Gli scomparti sono stati dimensionati per reti con correnti di cortocircuito di 16 kA e con riferimento alla tensione nominale di 30 kV.

Lo schema unifilare del quadro adottato, prevede la presenza dei seguenti moduli di media tensione:

- N° 1 scomparto partenza linea verso la sottostazione elettrica di utenza, costituito da un sezionatore generale e un interruttore generale, corredato di un sistema di protezione di massima corrente, massima corrente omopolare e direzionale di terra;
- N° 1 scomparto dispositivo generale, costituito da un sezionatore generale con a valle un interruttore generale, con funzione di massima corrente di fase;
- N° 2 scomparti partenza linea verso i sottocampi fotovoltaici, ciascuno costituito da un sezionatore con a valle un interruttore e asservito da protezione di massima corrente, massima corrente omopolare, direzionale di terra e protezione di interfaccia;
- N° 1 scomparto protezione trasformatore servizi ausiliari, costituito da un interruttore di manovra sezionatore con fusibile, a protezione del trasformatore installato all'interno della stessa cabina e attraverso cui verranno alimentati i servizi ausiliari di cabina.

Lo schema del quadro potrà subire modifiche in fase di progettazione esecutiva.

2.10 Quadri servizi ausiliari di campo

È prevista l'installazione di 14 quadri a servizio dei trasformatori ausiliari, in concomitanza delle Power Station dotate di:

- Interruttore di manovra sezionatore con fusibile a protezione del trasformatore ausiliare
- Interruttore magnetotermico generale;
- Predisposizione per gruppo di misurazione
- Interruttori magnetotermici differenziali per servizi ausiliari
- Interruttore magnetotermico differenziale a protezione di un UPS d'emergenza (previsto secondo CEI 0-16)

2.11 Gruppi di misura dell'energia

È prevista l'installazione di:

- N.12 gruppi di misura dell'energia elettrica prodotta dai campi fotovoltaici (ognuno asservito alla porzione di sottocampo che si rifà ad uno dei due inverter della singola Power station);
- N.4 gruppi di misura attraverso cui contabilizzare l'energia elettrica assorbita dai servizi ausiliari;
- N. 1 gruppo di misura di tipo bi-direzionale per contabilizzare l'energia elettrica scambiata con la rete. Il gruppo di misura bi-direzionale sarà collocato in uno scomparto esterno al quadro MT delle cabine di raccolta, e verrà collegato al trasformatore amperometrico

all'interno dello scomparto partenza linea ed al trasformatore voltmetrico all'interno dello scomparto misure Interruttore Generale;

2.12 Valutazione delle prestazioni degli impianti fotovoltaici in fase di avvio dell'impianto

La valutazione delle prestazioni degli impianti fotovoltaici in fase di avvio dell'impianto viene effettuata o in termini di energia (con misure relative ad un dato periodo) o in termini di potenza (con misure istantanee) con le modalità di seguito indicate.

2.12.1 Valutazione delle prestazioni in energia

La verifica prestazionale degli impianti fotovoltaici in fase di avvio dell'impianto viene effettuata in termini di energia valutando l'indice di prestazione PR (o indice di prestazione in energia, corretto in temperatura).

L'indice di prestazione PR evidenzia l'effetto complessivo delle perdite sull'energia generata in corrente alternata dall'impianto fotovoltaico, dovute allo sfruttamento incompleto della radiazione solare, al rendimento di conversione dell'inverter e alle inefficienze o guasti dei componenti (inclusi il disaccoppiamento fra le stringhe e gli eventuali ombreggiamenti sui moduli).

In analogia al PR indicato nella Norma CEI EN 61724, espresso come nell'equazione, si definisce il PR_e come segue:

$$PR_e = E_{ca} / E_{ca_producibile}(H_i, P_n, T_{cel})$$

dove:

$E_{ca_producibile}(H_i, P_n, T_{cel})$ è l'energia producibile in corrente alternata, determinata in funzione della radiazione solare incidente sul piano dei moduli (H_i), della potenza nominale dell'impianto (P_n) e della temperatura di funzionamento della cella fotovoltaica (T_{cel}).

2.12.2 Valutazione delle prestazioni in potenza

La verifica prestazionale degli impianti fotovoltaici in fase di avvio dell'impianto viene effettuata in termini di potenza valutando l'indice di prestazione PR_p (o indice di prestazione in potenza, corretto in temperatura).

L'indice di prestazione PR_p evidenzia l'effetto complessivo delle perdite sulla potenza generata in corrente alternata dall'impianto fotovoltaico, dovute allo sfruttamento incompleto dell'irraggiamento

solare, al rendimento di conversione dell'inverter e alle inefficienze o guasti dei componenti (inclusi il disaccoppiamento fra le stringhe e gli eventuali ombreggiamenti sui moduli).

Analogamente all'espressione, la verifica delle prestazioni in potenza di un impianto fotovoltaico è effettuata controllando che siano soddisfatti i seguenti vincoli nelle condizioni di funzionamento sotto riportate:

$$PRp = P_{ca} / P_{ca_producibile_}(Gp, Pn, T_{cel}) = P_{ca} / (R_{fv2} \times Gp / G_{stc} \times Pn) > 0,78 \text{ se } P_{inv} \leq 20 \text{ kW}$$

$$0,80 \text{ se } P_{inv} > 20 \text{ kW}$$

Dove:

- R_{fv2} è calcolato secondo l'espressione;
- P_{inv} è la potenza nominale dell'inverter.

Le condizioni di funzionamento dell'impianto fotovoltaico per la verifica dell'indice prestazionale PRp in fase di avvio dell'impianto sono le seguenti:

- Irraggiamento sul piano dei moduli (Gp) superiore a 600 W/m^2 ;
- Velocità del vento non rilevante, in riferimento al solarimetro utilizzato;
- Rete del distributore disponibile;
- In servizio tutti gli inverter dell'impianto o della sezione in esame.

La verifica dell'indice prestazionale PRp viene effettuata operando su tutto l'impianto, se tutte le sue sezioni hanno caratteristiche identiche, o su sezioni dello stesso caratterizzate da:

- Stessa inclinazione e orientazione dei moduli;
- Stessa classe di potenza dell'inverter ($P_{inv} > 20 \text{ kW}$ o $P_{inv} \leq 20 \text{ kW}$);
- Stessa tipologia di modulo (e quindi stesso valore del coefficiente di temperatura di potenza);
- Stessa tipologia di installazione dei moduli (e quindi analoga T_{cel}).

3. SICUREZZA ELETTRICA

3.1 Protezione dalle sovracorrenti

Per la protezione delle linee elettriche di bassa tensione dalle sovracorrenti, è presto l'utilizzo di interruttori automatici dotati di sganciatore termico e magnetico, le cui caratteristiche sono state opportunamente coordinate con quelle del cavo da proteggere attraverso il rispetto delle prescrizioni della Norma CEI 64-8:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I^2 t \leq K^2 S^2$$

dove:

- I_b è la corrente di impiego della linea;
- I_n è la corrente nominale dell'interruttore;
- I_z è la portata del cavo;
- I è il valore della corrente di cortocircuito nel punto di installazione dell'interruttore;
- t è il tempo di intervento del dispositivo in occasione di guasto;
- K è un coefficiente che dipende dal tipo di cavo utilizzato.

Il rispetto della prima condizione assicura la protezione contro il sovraccarico, mentre per la protezione contro gli effetti termici prodotti in occasione di cortocircuito, è necessario garantire il rispetto della seconda condizione sopra riportata.

La protezione dei trasformatori e delle linee elettriche di media tensione sarà affidata ad interruttori MT dotati di relè di massima corrente di fase ed omopolare.

3.2 Protezione contro i contatti diretti

Per la protezione contro i contatti diretti verranno adottate misure di protezione totali (isolamento delle parti attive) e parziali (involucri e barriere).

3.3 Protezione contro i contatti indiretti

La protezione contro i contatti indiretti sarà garantita mediante interruzione automatica dell'alimentazione (sistema di protezione attivo) in occasione di guasto di isolamento verso terra di apparecchiature di classe I, e l'utilizzo di apparecchiature di classe II.

4. Specifiche tecniche opere elettriche di Sottostazione

La realizzazione della Sottostazione Elettrica di Utente (SSE) comprende sia opere elettriche che opere civili necessarie per il funzionamento della stessa. La sottostazione avrà una dimensione in pianta di forma rettangolare di circa 28x34 m e perimetralmente verrà realizzata una recinzione. Essa sarà ubicata in prossimità della futura Stazione Elettrica di Smistamento a 150 kV della RTN.

Per razionalizzare l'utilizzo delle infrastrutture di rete, sarà presente un'area condominiale con sistema di sbarre AT 150kV, per il parallelo tra gli impianti in condivisione dello stallo, ed un montante di partenza linea a 150kV, per il sezionamento e la protezione della linea AT realizzata in cavo interrato, che si collegherà allo stallo arrivo Produttore della Stazione TERNA.

I dati generali riportati nella **Tabella 1** e nella **Tabella 2**, si riferiscono a quelli utilizzati per il dimensionamento della SSE.

Tensione di esercizio del sistema	150	kV
Tensione massima del sistema di riferimento per l'isolamento	170	kV
Frequenza nominale	50	Hz
Tensione di tenuta a frequenza industriale	325	kV
Tensione di tenuta ad impulso atmosferico	750	kV
Corrente nominale di breve durata	40	kA

Tabella 3: Caratteristiche della Sottostazione di trasformazione MT/AT – Lato AT 150 kV

Tensione di esercizio del sistema	30	kV
Tensione massima del sistema di riferimento per l'isolamento	36	kV
Frequenza nominale	50	Hz
Tensione di tenuta a frequenza industriale	70	kV

Tabella 4: Caratteristiche della Sottostazione di trasformazione MT/AT – Lato MT 30 kV

Le opere elettriche da realizzare in Sottostazione sono costituite principalmente dalle apparecchiature elettromeccaniche che nel seguito verranno descritte in modo dettagliato in narrativa, dai cavi di BT

e MT di collegamento tra i quadri elettrici presenti nei locali tecnici e le apparecchiature elettriche, dai sistemi di protezione, dai servizi ausiliari e dall'impianto di terra.

Lo schema elettrico di sottostazione è composto da uno stallo di MT/AT 30/150 kV da 30MVA, un sistema di sbarre per il parallelo con altri produttori, e uno stallo partenza linea.

Nelle tavole di progetto allegate, sono riportate lo schema planimetrico, particolari e lo schema elettrico unifilare della sottostazione.

4.1 Cavi MT interni alla SSE 30/150kV

La dorsale di media tensione proveniente dal parco di generazione è costituita da una terna di cavi unipolari ARE4H5E 18/30 kV in formazione 3x(1x630) mm².

Internamente alla SSE, il cavo in MT di collegamento tra il quadro MT dei locali tecnici e lo stallo di trasformazione è costituito da una singola terna di cavi tipo ARG7H1(AR)E-18/30 kV di formazione 3x1x630 mm².

4.2 Sistemi di protezione, controllo e misura

Il sistema scelto per la protezione, il comando e il controllo dell'Impianto di utenza apparterrà ad una generazione di apparecchiature in tecnologia digitale, aventi l'obiettivo di integrare le funzioni acquisizione dati, controllo locale e remoto, protezione ed automazione. Per le misure fiscali è prevista l'installazione di appositi gruppi di misura sul montante AT del trasformatore e sulla linea MT in arrivo dal parco fotovoltaico.

4.3 Terminale cavo AT

Si tratta di un terminale cavo AT da 1600 mm² della Nexans italia S.p.A. o equivalente. Da tale terminale, il cavo unipolare AT ARE4H1H5E 87/150 (170kV) viene interrato e si collegherà ai terminali cavo del futuro stallo da realizzarsi nella Stazione Elettrica di Smistamento 150 kV della RTN. Il terminale cavo è costituito da due elementi distinti: la terminazione del cavo e l'isolatore. Detti elementi saranno forniti dal medesimo costruttore e montati in tempi e luoghi diversi. Il montaggio della terminazione del cavo viene effettuata in campo mentre l'isolatore viene montato sull'apparecchiatura prefabbricata presso lo stabilimento di produzione. L'isolatore realizzato in resina epossidica o altro materiale equivalente ha lo scopo di realizzare la connessione elettrica tra la terminazione del cavo e l'apparecchiatura blindata e di mantenere l'isolamento nel punto di connessione. L'isolatore si interfaccia con la terminazione del cavo, è a tenuta stagna e garantisce la separazione dei due ambienti SF6/aria anche in assenza della terminazione del cavo. L'isolatore ingloba un sistema elastico di contatto per alloggiare il sistema di contatto scorrevole della

terminazione del cavo, assicura il passaggio della corrente nominale alla temperatura massima di esercizio del conduttore del cavo e sopporta le correnti di guasto specificate.

L'isolatore è dotato di un dispositivo atto ad assicurare il fissaggio del terminale alla flangia dell'apparecchiatura blindata, nonché la tenuta meccanica e all'SF6. Tale dispositivo deve anche garantire l'isolamento elettrico tra l'apparecchiatura blindata e il rivestimento metallico del cavo. L'isolatore e la relativa flangia di fissaggio dovranno inoltre essere conformi alle normative vigenti per quanto riguarda le apparecchiature in pressione. La terminazione del cavo ha la funzione di realizzare l'accoppiamento all'isolatore passante senza l'impiego di fluidi isolanti intermedi ed è costituita dai seguenti elementi:

- Un capocorda atto a realizzare un sistema di contatto scorrevole e in grado di assicurare il passaggio della corrente nominale e sopportare le correnti di guasto previste;
- Un corpo elastico prefabbricato contenente al suo interno l'elemento per il controllo del campo elettrico;
- Un corpo metallico, con l'eventuale dispositivo di pressione dell'isolatore elastico, atto a realizzare la connessione della terminazione del cavo all'isolatore. È dotato di morsetto di messa a terra;
- Un dispositivo di chiusura per garantire la tenuta idraulica tra il corpo metallico e la guaina del cavo.

Sotto viene riportata una immagine di tale componente:



Figura 6: particolare terminale cavo AT

4.4 Scaricatori AT 170 kV

Gli scaricatori di sovratensione AT saranno ad ossido di zinco conformi alle norme CEI EN 60099-4 e IEC 99-4. Per ottenere la massima protezione, gli scaricatori di sovratensione devono essere collegati con conduttori sia di linea che di messa a terra più corti possibili. Essi sono dimensionati per una tensione di esercizio uguale o inferiore alla tensione di esercizio continuo U_c (norma IEC) che viene indicata sulla targhetta dei dati nominali. Gli scaricatori, i contascariche ed il relativo cavo di collegamento all'impianto di terra devono essere isolati dal sostegno metallico dello scaricatore stesso. Nella tabella seguente si riassumono le caratteristiche nominali.

Caratteristiche nominali scaricatori ad ossido di zinco senza spinterometri (opzionali)			
Tensione nominale (kV)	132	150	220
Tensione massima (kV)	145	170	245
Tensione servizio continuo U_c (kV)	94	108	156
Max tensione temporanea 1 s (kV)	132	156	219
Max tensione residua con impulsi atmosferici (8/20 μ s)	336 kV a 10 kA	396 kV a 10 kA	520 kV a 20 kA
Max tensione residua con impulsi fronte ripido (1 μ s)	386 kV a 10 kA	455 kV a 10 kA	600 kV a 20 kA
Max tensione residua con impulsi manovra (30/60 μ s)	1000 A: 270 kV	1000 A: 318 kV	2000 A: 440 kV
Classe di scarica della linea (IEC)	3	3	4
Corrente nominale scarica (kA)	10	10	20
Valore di cresta impulsi forte corrente (kA)	100	100	100
Corrente nominale di corto circuito (kA)	40	40	50

Tabella 5: Caratteristiche scaricatori di sovratensione

Di seguito viene riportata una immagine indicativa del componente descritto.

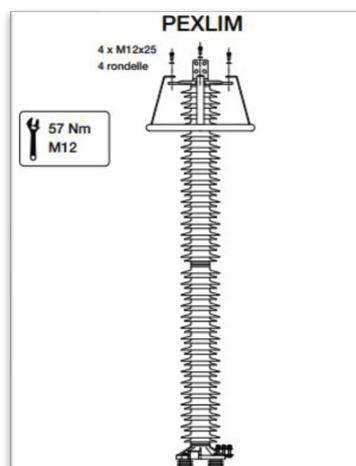


Figura 7: Scaricatore di sovratensione

4.5 Sezionatore tripolare orizzontale 145-170 kV

Il sezionatore tripolare orizzontale 145-170 kV con lame di messa a terra e comando motorizzato, conforme alle Norme CEI EN 62271-102 e IEC 129, è provvisto appunto di comando motorizzato e manuale, così come previsto dalla Norma CEI EN 61129. I sezionatori sono dotati di tre colonne di isolatori per polo, di cui quella centrale rotante. Durante la manovra di chiusura il braccio mobile si muove dapprima su di un piano orizzontale restando solidale all'isolatore centrale e successivamente, ad imbocco avvenuto, ruota attorno al suo asse longitudinale. Le parti principali che compongono un sezionatore tripolare sono illustrate nella figura sottostante con la seguente descrizione: le basi di appoggio (A), gli isolatori (B), i contatti fissi (C) due per ogni polo, i bracci mobili in lega di alluminio e di rame per i contatti (D), le lame di terra (E), il sistema di trasmissione verticale (F) e orizzontale (G), il meccanismo di manovra motorizzato o manuale con resistenza anti-condensa e morsetteria componibile (H).

Le caratteristiche nominali sono riassunte nella tabella sottostante.

Sezionatori orizzontali 145-170 kV con lame di terra, caratteristiche nominali

Tipo Terna	Y21/2	Y21/4	Y21/6	Y21/8
Classe di corrente indotta del sezionatore di terra	A		B	
Salinità di tenuta a 98 kV (kg/m ³)	56			
Tensione nominale (kV)	170			
Corrente nominale (A)	2000			
Frequenza nominale (Hz)	50			
Corrente nominale di breve durata:				
- valore efficace (kA)	31,5	40	31,5	40
- valore di cresta (kA)	80		100	
Durata ammissibile della corrente di breve durata (s)	1			
Accoppiamento elettromagnetico (sezionatore di terra)				
- corrente induttiva nominale(A)	50		125	
- tensione induttiva nominale (kV)	1		10	
Accoppiamento elettrostatico (sezionatore di terra)				
- corrente induttiva nominale (A)	0,4		5	
- tensione induttiva nominale (kV)	3		6	
Tensione di prova ad impulso atmosferico:				
- verso massa (kV)	650			
- sul sezionamento (kV)	750			
Tensione di prova a frequenza di esercizio:				
- verso massa (kV)	275			
- sul sezionamento (kV)	315			
Sforzi meccanici nominali sui morsetti:				
- orizzontale longitudinale (N)	800			
- orizzontale trasversale (N)	250			
- verticale (N)	1000			
Tensione nominale di alimentazione:				
- motore (V _{cc})	110			
- circuiti di comando ed ausiliari (V _{cc})	110			
- resistenza di riscaldamento (V _{ca})	230			
Assorbimento massimo complessivo dei motori di comando di ciascun sezionatore (kW)	2			
Tempo di apertura/chiusura (s)	≤15			

Tabella 6: Caratteristiche sezionatori orizzontali

4.6 Trasformatore di tensione induttivo

Il trasformatore di tensione induttivo montato su supporto metallico, usato per le misure, è conforme alla Norma CEI 38-2 e IEC 185. Il dielettrico è costituito da carta impregnata di olio minerale biodegradabile, compatibile con l'ambiente. Gli avvolgimenti di induzione permettono una elevata stabilità e precisione in tutte le condizioni di esercizio e per questo tali trasformatori vengono utilizzati per le misure. Gli avvolgimenti sono ermeticamente sigillati e il TV-I è provvisto al suo interno di dispositivo di compensazione delle variazioni di volume del liquido isolante.

Trasformatori di tensione induttivi 145-170-245 kV, caratteristiche nominali

Tipo Terna	Y43/2	Y46/2	Y44/2
Tensione primaria nominale [kV]	220/ $\sqrt{3}$	150/ $\sqrt{3}$	132/ $\sqrt{3}$
Tensione secondaria nominale [V]	100/ $\sqrt{3}$		
Numero avvolgimenti secondari [n]	1		
Frequenza nominale [Hz]	50		
Prestazione nominale e classe di precisione secondario di misura [VA/Cl.]	50/0,2		
Tensione massima per l'apparecchiatura [kV]	245	170	145
Tensione di tenuta a frequenza industriale [kV]	460	325	275
Tensione di tenuta ad impulso atmosferico [kV]	1050	750	650
Tensione di tenuta ad impulso di manovra [kV]	-	-	-
Carico di tenuta meccanica sui terminali AT [N]	2500	2000	2000

Tabella 7: Caratteristiche trasformatori di tensione induttivi



Figura 8: Trasformatore di tensione induttivo

4.7 Interruttore tripolare 170 kV

Gli interruttori tripolari in SF6 previsti presenteranno le caratteristiche elettriche riportate nella tabella seguente.

Tipo TERNA	Corrente di interruzione (kA)	
Y3/4-C	31,5	
Y3/4-P	31,5	
Y3/6-C	40	
Y3/6-P	40	
GRANDEZZE NOMINALI		
Tipo	Y3/4	Y3/6
Tensione nominale (kV)	170	
Livello di isolamento nominale:		
- tensione nominale di tenuta a impulso atmosferico (kV):	750	
- tensione nominale di tenuta a frequenza industriale (kV):	325	
Frequenza nominale (Hz)	50	
Corrente nominale (A)	2000	
Durata nominale di corto circuito (s)	1	
Tensioni nominali di alimentazione dei circuiti ausiliari:		
- corrente continua (V)	110	
- corrente alternata monofase/trifase a quattro fili (V)	230/400	
Potenza massima assorbita da ogni singolo circuito indipendente (CH, AP1, AP2, AP3, motore/fi, climatizzazione):		
- corrente continua (W)	1500	
- corrente alternata monofase/trifase (VA)	850/2500	
Corrente di stabilimento nominale di corto circuito (kA)	80	100
Sequenza di manovra nominale	O-0,3 s-CO-1 min-CO	
Corrente di interruzione nominale di linee a vuoto (A)	63	
Corrente di interruzione nominale di cavi a vuoto (A)	160	
Corrente di interruzione nominale di batteria singola di condensatori (A)	400	
Corrente di interruzione nominale in discordanza di fase (kA)	8	10
Durata massima di interruzione (ms)	60	
Durata massima di stabilimento/interruzione (ms) (con bobina a lancio)	80	
Durata massima di stabilimento/interruzione (ms) (con bobina a mancanza)	120	
Durata massima di chiusura (ms)	150	
Forze statiche ai morsetti:		
- orizzontale longitudinale (N)	1250	
- orizzontale trasversale (N)	750	
- verticale (N)	1000	
Livello di qualificazione sismica	AF5	

Tabella 8: Caratteristiche interruttori AT

Viene di seguito riportata una immagine indicativa dell'interruttore.



Figura 9: Interruttore AT 170 kV

4.8 Trasformatori di corrente

Le caratteristiche dei TA vengono riportate nella tabella seguente.

GRANDEZZE NOMINALI		
Corrente termica di breve durata (I_{bt})	(kA)	40
Tensione nominale (U_n)	(kV)	170
Frequenza nominale	(Hz)	50
Rapporto di trasformazione nominale:		
T38	(A/A)	400/5 800/5 1600/5
T37	(A/A)	200/5 400/5
Numero di nuclei	(n)	3
Corrente termica nominale permanente	(A)	1,2 I_p
Corrente termica nominale di emergenza 1 h	(A)	1,5 I_p
Corrente dinamica nominale (I_{dyn})	(p.u.)	2,5 I_{bn}
Resistenza secondaria II e III nucleo a 75°C	(Ω)	$\leq 0,4$
Prestazioni e classi di precisione:		
I nucleo	(VA/CL)	30/0,2 50/0,5
II e III nucleo	(VA/CL)	30/5P30
Fattore di sicurezza (I nucleo)	-	≤ 10
Tensione di tenuta a impulso atmosferico	(kV)	850
Tensione di tenuta a frequenza industriale	(kV)	380
Tensione di tenuta a impulso di manovra	(kV)	-

Tabella 9: Caratteristiche nominali trasformatori amperometrici

4.9 Supporto rompitratta unipolare

Il colonnino rompitratta è costituito da sostegni rispondenti alle seguenti Norme Tecniche di legge:

- Norma CEI 7-6 “*Controllo della zincatura a caldo*”;
- Norma CEI 11-4 “*Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne*”;
- Norma UNI 3740 “*Elementi di collegamento filettati di acciaio*”;
- Norma UNI 7091 “*Tubi saldati in acciaio non legato. Tubi lisci per usi generici*”;
- Norma UNI-EN 10025 “*Prodotti laminati a caldo di acciai non legati per impieghi strutturali – Condizioni tecniche di fornitura*”;
- Norma UNI-EN 10045/1 “*Materiali metallici – Prova di resilienza*”;
- Norma CNR-UNI 10011 “*Costruzioni di acciaio – Istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione delle costruzioni di acciaio*”;
- Legge 5 Novembre 1971, n. 1086 “*Norma per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica*”.

Tutti i materiali per la costruzione dei sostegni saranno, di norma, scelti tra quelli indicati dalle Norme UNI EN 10025, con l'esclusione degli acciai Fe 490, Fe 590 e Fe 690. I collegamenti filettati per tutti i tipi di sostegno sono conformi alle Norme UNI 3740. Tutto il materiale ferroso sarà zincato a caldo, secondo quanto prescritto dalla Norma CEI 7-6. Tutti i sostegni sono completi di tutti gli accessori necessari e sono predisposti per la messa a terra, secondo quanto previsto dalla Norma CEI 11-4. Nella figura seguente si individuano tali supporti in sezione e poi in foto.

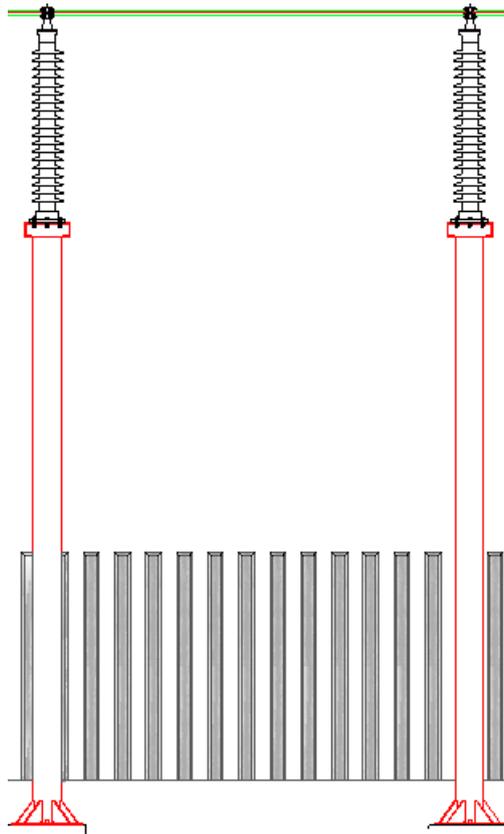


Figura 10: particolare prospettico dei supporti rompitratta unipolari

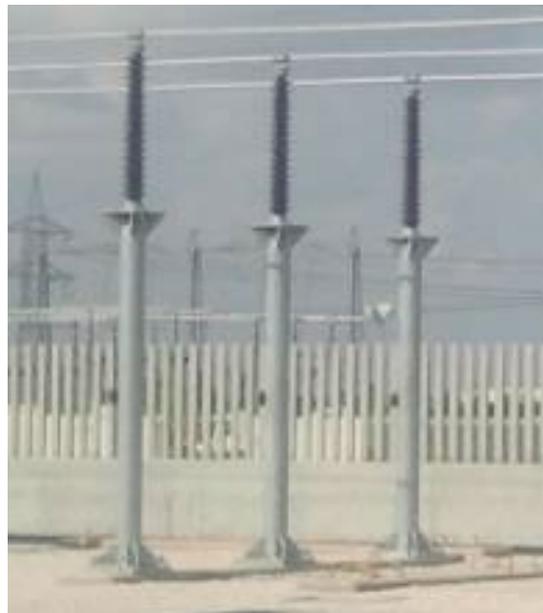


Figura 11: particolari in foto di tali supporti

4.10 Trasformatore di potenza

Il trasformatore di potenza MT/AT, 30/150 kV sarà conforme alla Norma CEI 14-4. Esso avrà potenza di 30 MVA. Il trasformatore da installare è del tipo isolato in olio minerale per installazione all'esterno, a rapporto variabile, con raffreddamento naturale dell'aria e dell'olio (ONAN), con radiatori addossati al cassone, completo di serbatoio dell'olio per il funzionamento e di serbatoio dell'olio di riserva, predisposto per il sistema di raffreddamento (ONAF). Nel caso di raffreddamento ONAF, la circolazione dell'aria sarà ottenuta mediante elettroventilatori ed opportuna apparecchiatura di comando e controllo. Esso sarà posizionato sopra una speciale vasca per il contenimento dell'eventuale fuoriuscita dell'olio in caso di guasto. Il trasformatore sarà completo di cassonetto di protezione, contenente gli scaricatori a 30 kV. Tale unità di trasformazione costituisce una modesta sorgente di rumore in accordo ai limiti fissati dalla legge quadro sull'inquinamento acustico, in corrispondenza dei recettori sensibili.

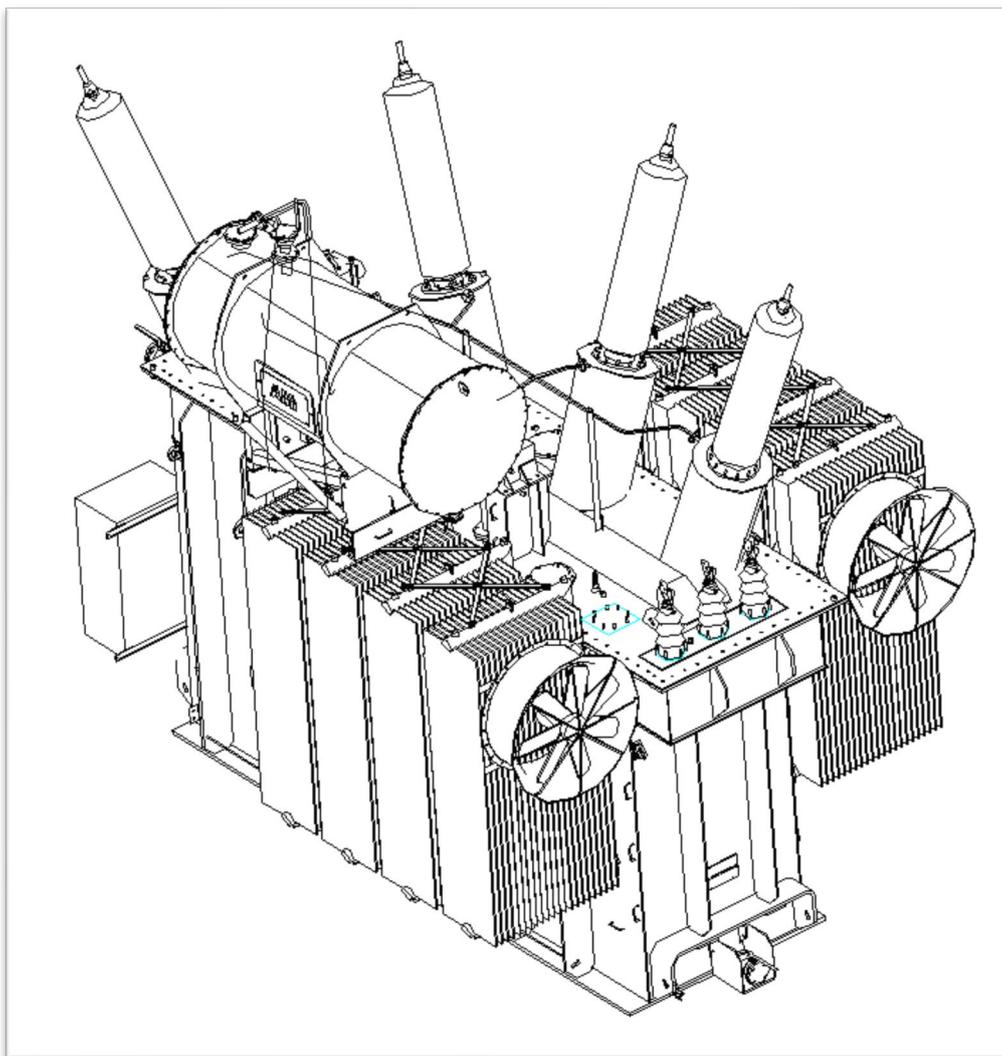


Figura 12: Vista assometrica del trasformatore di potenza MT/AT